

**DISEÑO METODOLOGICO Y GUÍA DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DE  
LOS PRINCIPIOS BASICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE  
PUESTA A TIERRA.**

ELTON ARANGO NOGUERA  
JAIME SANJUAN VANEGAS

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2013

**DISEÑO METODOLOGICO Y GUÍA DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DE  
LOS PRINCIPIOS BASICOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE  
PUESTA A TIERRA.**

ELTON ARANGO NOGUERA  
JAIME SANJUAN VANEGAS

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Eléctrico

Director académico:  
JORGE IVAN SILVA  
Docente Tiempo Completo

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2013



Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

***“No teman ni se asusten ante esta gran muchedumbre; porque esta guerra  
no es de ustedes sino de Yavé” ( 2° de Crónicas 20 (15))***

## **DEDICATORIA**

Por el fruto del esfuerzo, trabajo y dedicación para alcanzar nuestra meta anhelada, se dedica este trabajo a los autores y coautores, partícipes de este camino lleno de derrotas y triunfos, ellos son:

A Dios que es quien siempre nos llena de fuerza y valentía para afrontar todas las responsabilidades y hacerlas realidad, Él es quien ha permitido que esta obra y las que vienen sean una realidad.

A nuestros padres que siempre nos apoyaron en los buenos y malos momentos, este logro es fruto de su esfuerzo intenso, constante y sin medida, todo por amor a nosotros sus hijos.

A nuestros profesores que permitieron con su conocimiento y experiencia, gran parte de nuestra formación, capacidades y competencias profesionales obtenidas hasta ahora.

A nuestros familiares y amigos que siempre creyeron en nuestras habilidades y fueron un gran apoyo en los momentos duros y difíciles de la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el esfuerzo dedicado de las siguientes personas, que de alguna manera colaboraron en la culminación del presente proyecto de grado:

A Dios por regalarnos vida y hacer de ellas personas valiosa que motivadas por su amor y sus enseñanzas, hizo de nosotros estudiantes comprometidos y responsables, gracias a Él se pudo navegar en el mar de las dificultades y adquirir valor para superar cada obstáculo.

A nuestros padres que siempre nos enseñaron a ser hombre correctos, siempre permitieron que nunca nos hiciera falta el alimento para rendir, con su confianza y amor fueron siempre ese rayo de luz en medio de la oscuridad, guardaespaldas de nuestras vidas, trabajando arduamente en la misión formarnos correctamente.

A nuestros profesores, verdaderos maestros y amigos, que siempre se preocuparon por formarnos correctamente y hacer de nosotros profesionales de calidad, ayudados de la sinceridad, la responsabilidad, pero ante todo, mucha caridad.

A nuestros familiares y amigos, por creer incondicional en nosotros, la compañía y la solidaridad para con nuestros sueños y anhelos.

Al ingeniero Jorge Iván Silva, nuestro director de proyecto, un profesional integro, y gran ejemplo para nosotros, quien siempre se ha preocupado por la calidad y el profesionalismo para con el programa de ingeniería eléctrica y los estudiantes de la universidad de la costa (CUC).



## CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>18</b>
<b>2 JUSTIFICACION.....</b>	<b>19</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>4 MARCO TEORICO.....</b>	<b>21</b>
4.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO .....	21
4.2 ESTADO DEL ARTE .....	22
4.2.1 Estado del arte en el contexto internacional .....	22
4.2.2 Estado del arte en el contexto nacional .....	23
4.2.3 Estado del arte en el contexto local .....	24
4.3 ALCANCES .....	25
4.4 UBICACIÓN .....	26
4.4.1 DELIMITACIÓN.....	26
4.4.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	26
4.5 DEFINICIONES .....	27
a) Acometida .....	27
b) Conductor puesto a tierra.....	28
c) Conductor de puesta a tierra de equipos .....	28
d) Sistema de puesta a tierra .....	30
e) Sistema de puesta a tierra de protección .....	30
f) Sistema de puesta a tierra temporal .....	30
g) Conexión equipotencial .....	30
h) Electrodo de puesta a tierra .....	31
i) Puente de conexión equipotencial principal .....	31
j) Equipotencializar .....	31
k) Interruptor de falla a tierra .....	31

l)	Malla de tierra .....	31
m)	GPR (Ground Potential Rise) .....	32
n)	Tensión de contacto.....	32
o)	Tensión de paso .....	33
p)	Tensión transferida .....	34
q)	Funciones de un SPT .....	34
r)	Factor de división de la corriente de falla.....	34
s)	Tipos de puestas a tierra.....	35
1.	Sistemas de corriente continua.....	35
2.	Equipos eléctricos .....	36
t)	Etapas de un SPT.....	37
u)	Componentes de un SPT .....	38
v)	Requisitos generales de las puestas a tierra .....	39
w)	RANGOS PERMISIBLES PARA EL CUERPO HUMANO .....	41
<b>x)</b>	<b>MEDICIONES .....</b>	<b>43</b>
1)	Método Wenner .....	44
2)	Método de la caída de potencial .....	46
<b>3)</b>	<b>CONDICIONES DEL TERRENO.....</b>	<b>48</b>
	Propiedades de los suelos que se tienen en cuenta para el diseño de un sistema de puesta a tierra. ....	50
	Actividad electroquímica.....	52
	Anisotropía .....	52
	Compactación y presión del suelo.....	53
	Composición del terreno .....	53
	Concentración de sales.....	53
	Estratificación del suelo.....	53
	Humedad del suelo.....	54
	Resistividad del terreno ( $\rho$ ) .....	54
	Temperatura del suelo .....	54
<b>y)</b>	<b>Diseño de un sistema de puesta a tierra según IEE 80 Std. ....</b>	<b>54</b>
i.	Secuencia y algoritmo para el diseño .....	55
ii.	Información de campo.....	55
1.	Calculo calibre conductor.....	55
	Tensiones tolerables.....	58
	Tensión de paso tolerable .....	59
	Tensión de contacto tolerable .....	59
	Diseño preliminar .....	60
	Calculo de la resistencia de puesta a tierra .....	61
	Máxima corriente de falla.....	63
	Calculo del GPR.....	65
	Tensión de retícula o malla ( $E_m$ ) .....	66
	Tensión de paso ( $E_p$ ) .....	68
	Acondicionamiento del suelo para obtener una resistividad aceptable. ....	70
<b>z)</b>	<b>Instalaciones eléctricas .....</b>	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>77</b>

<b>5.1</b>	<b>Bases de la guía de laboratorio .....</b>	<b>77</b>
<b>5.2</b>	<b>Características de las guías de laboratorio .....</b>	<b>78</b>
5.2.1	Estructura.....	78
5.2.1.1	Tema.....	78
5.2.1.2	Objetivos.....	79
5.2.1.3	Requisitos teóricos (Información previa a la práctica) .....	79
5.2.1.4	Procedimiento .....	79
5.2.1.5	Análisis de los datos.....	79
5.2.2	Informe.....	80
5.2.2.1	Datos y observaciones .....	80
5.2.2.2	Tablas o gráficos .....	80
5.2.2.3	Cálculos y resultados .....	80
5.2.2.4	Conclusiones y discusión .....	80
5.2.3	Respuestas a las preguntas .....	81
5.2.4	Evaluación de la experiencia .....	81
<b>6</b>	<b>GUÍA DE LABORATORIO .....</b>	<b>81</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>105</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>108</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Punto de conexión (acometida). .....	27
Figura 2 Tensión de contacto .....	33
Figura 3 Tensión de paso . .....	33
Figura 4 Puesta a tierra de equipo electrónico .....	36
Figura 5 Etapas para la implementación de un SPT .....	38
Figura 6 Componentes en un SPT .....	39
Figura 7 Sistemas de puestas a tierra dedicada e interconectada .....	40
Figura 8 Efectos de la corriente AC en el cuerpo humano. ....	42
Figura 9 Efectos de la corriente DC en el cuerpo humano.....	42
Figura 10 Medición de la resistividad del terreno método wenner. ....	44
Figura 11 Método de la caída de potencial para medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra. ....	47
Figura 12. Curva de proximidad de factor de división de corriente para una resistencia de transmisión de 15Ω y distribución 25Ω. ....	64
Figura 13. Conexión de puesta a tierra para subestación tipo poste de zonas urbanas. ....	72
Figura 14. Esquema de conexión equipotencial de un sistema de puesta a tierra básico.....	73
Figura 15. Instalación de electrodo tipo varilla.....	74
Figura 16. Instalación de electrodo tipo varilla.....	75
Figura 17. SPT para medidores de energía.....	76

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Sección transversal calibre conductor puesto a tierra .....	29
Tabla 2. Composición química de la corteza terrestre .....	49
Tabla 3. Resistividad de algunos materiales. ....	51
Tabla 4. Constante de materiales [IEEE. Std 80. Guide for Safety in AC substation Grounding. Approved 30 January 2000] .....	57
Tabla 5. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de c.a [NTC 2050. Sección 250. "Puesta A Tierra"] .....	58
Tabla 6. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra. [IEEE. Std 80. Guide for Safety in AC substation Grounding. Approved 30 January 2000] .....	62

## ABREVIATURAS

**Tabla 1** Abreviaturas.

Simbolo	Descripción
$\rho$	Resistencia del terreno, $\Omega\text{m}$
A	Área ocupada por la malla de tierra, $\text{m}^2$
D	Diámetro del conductor de la malla, m
D'	Espacio entre conductores paralelos, m
$E_m$	Tension de retícula, V
$E_c$	Tensión de contacto permisible, V
$E_p$	Tensión de paso permisible, V
GPR	Máxima tensión de la malla relativa a la tierra remota, V
h	Profundidad de la malla, m
$I_g$	Máxima corriente asimétrica entre la malla y tierra, A
$K_h$	Factor de enterramiento de la malla
$K_i$	Factor de corrección por geometria de malla
$K_m$	Factor de geometría para tensiones de reticula
$K_s$	Factor de geometría para tensiones de paso
$L_c$	Longitud total de cable enterrado, m
$L_M$	Longitud efectiva de $L_c + L_R$ para tensión de reticula, m
$L_R$	Longitud total de varillas enterradas, m
$L_s$	Longitud efectiva de $L_c + L_R$ para tensión de paso, m
L	Longitud total efectiva del sistema incluyendo la malla y las varillas, m
n	Numero de conductores paralelos en una dirección
$R_g$	Resistencia de tierra, $\Omega$
$t_c$	Duracion de la corriente de falla para determinar el tamaño del conductor, s
$t_r$	Duración de la corriente de falla para determinar el factor de decrecimiento, s

## RESUMEN

El presente proyecto agrupa y clasifica el desarrollo de un método concreto para el diseño de un Sistema de Puesta Tierra, SPT, basados en la norma IEEE 80 Std. Esto incluye la relación directa con asignaturas del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la Costa como son:

- Medición e instrumentación donde se compila información relacionada con equipos que se usan en esta temática para la interpretación de parámetros y resultados.
- Instalaciones eléctricas donde se compila información relacionada con normas, métodos y cálculos, para el diseño y aplicación de SPT para una instalación con características residenciales y comerciales.
- Subestaciones eléctricas donde se compila información para el diseño de una malla para SPT basados en la norma IEEE 80 Std, con base a estas recopilaciones se pretende establecer enfoques de diseño y aplicación de medidas.

De acuerdo a lo anterior. El presente documento se estructura bajo el siguiente orden:

- Recopilación de información, inspección y aplicación de normativas IEEE 80 Std, RETIE y NTC2050.
- Cálculos, comprensión, aplicación y explicación paso a paso para el diseño de SPT.
- Guías de laboratorio con metodologías prácticas relacionadas con las asignaturas a las cuales están enfocadas (Mediciones e instrumentación, subestaciones e instalaciones eléctricas).
- Desarrollo de actividades para el estudiante, con el fin de que estos implementen con ejemplos y ejercicios los métodos propuestos con ayuda de los profesores de las asignaturas ya mencionadas.

## **ABSTRACT**

This Project join up and classified the specifics method developed to set up the design for earthing system, this is started from the easiest method and finally it is explained the most complex algorithm, based on the standard IEEE 80, This document includes the direct relation with all the subjects that have been developed during the academic curriculum of Electrical Engineering at the Universidad de la Costa, like:

- Measurement and Instrumentation which gathered information related to devices used in this thematic for interpretation of parameters and results.
- Electrical installations which compiles all the information related to standards, methods and calculations for design referred to implementation for system with SPT for residential and commercial characteristics.
- Electrical stations which compiles information for the design of a mesh for SPT regarding to IEEE Std 80, based on these collections is to establish design approaches and measures.

Under this perspective, this document is organized as follow:

- Gathered information, application on Standards IEEE 80, RETIE and NTC2050.
- Calculations, understanding, apply and explain step by step for the design of SPT.
- Laboratory guides based on methodologies practices concerning and focused on (measurements and instrumentation, and electrical substations).
- Activities for the student progress, in order to address with examples and exercises to achieve the proposed method, assisted by all the professors for the previously mentioned subjects.



## INTRODUCCIÓN

Las instituciones universitarias que ofrecen el programa de ingeniería eléctrica, tratan de proveer una información global, abarcando toda la temática concerniente en cuanto al diseño, planificación, organización de procesos y aprobación de los mismos, para lograr eso todo ingeniero electricista egresado debe aplicar y conocer las normas existentes en el campo de la ingeniería eléctricas, bajo las cuales se evalúan y aprueban diseños e implementaciones eléctricas, debido a que están basados en normativas creadas a partir del método de ensayo y error. Basado en el proceso de mejoramiento continuo que tiene el programa es pertinente la identificación de temas que se deben reforzar para que fortalezcan las líneas de investigación del programa.

El presente documento contiene una recopilación de información y métodos para un diseñar SPT basados en la normativa vigente, los cuales van acompañados de unas guías de laboratorio para fortalecer y complementar la información recibida en las distintas asignaturas donde se imparte el tema de sistemas de puesta a tierra (SPT). Con esta investigación los estudiantes de la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la Costa obtendrán un paquete de información recopilada, clara y concisa de cómo se ejecutan este tipo de diseños, mejorando, solidificando y aportando más información en asignaturas como Mediciones e Instrumentación, Instalaciones Eléctricas y Subestaciones, con esta iniciativa que surgió de la inquietud por conocer más de este tema, la Institución contará con un amplio aporte de conocimiento pedagógicos de interés tanto como para el grupo estudiantil como para los docentes de la facultad.

La siguiente monografía se encuentra integrada con los siguientes capítulos: Capítulo 1 (Planteamiento del problema), capítulo 2 (Justificación), capítulo 3 (Objetivos), Capítulo 4 (Marco teórico), capítulo 5 (Diseño metodológico), capítulo 6 (Guía de laboratorio).

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El programa de Ingeniería Eléctrica en su fase de ciclo profesional cuenta con asignaturas acompañadas teórico-prácticas que generan espacios de desarrollo en el laboratorio, ayudando así al fortalecimiento de los conocimientos adquiridos llevándolos a la praxis. Estas materias son Circuitos Eléctricos I y II, Maquinas Eléctricas I y II, Accionamientos eléctricos. En todas estas asignaturas se toca de alguna manera el tema de SPT pero sin profundizar en ella.

Circuitos eléctricos enfoca sus laboratorios para formar en el conocimiento de equipos eléctricos interconectados como resistores, inductancias, capacitancias, entre otros tipos de equipos que alimentados y conectados de maneras diferentes cumplen una función.

Maquinas eléctricas enfoca sus laboratorios en la formación y conocimientos de los equipos eléctricos como transformadores y motores de tal manera que puedan interpretar los conocimientos teóricos dados en clase, con ayuda de una serie de ensayos y pruebas que se realizan a estas máquinas.

Accionamientos eléctricos enfoca sus laboratorios en el control y automatización de procesos eléctricos así como refrigeración para conocer su principio de funcionamiento.

Partiendo de este orden de ideas las preguntas a responder serian, ¿las materias con apoyo de laboratorios cubren lo que se debe saber de Sistemas de Puesta a Tierra?, ¿Necesitan las asignaturas en donde está incluida la temática de Sistemas de puesta a tierra y que no tienen laboratorio, como Subestaciones, Instalaciones Eléctricas, Mediciones e Instrumentación, de un aporte formativo adicional con relación a este tema?

## **2 JUSTIFICACION**

La finalidad de este proyecto es crear para la Universidad de la Costa (C.U.C) una guía que complemente la temática de Sistemas de Puesta a Tierra para ciertas asignaturas determinadas del programa de Ingeniería Eléctrica, logrando de forma directa aportar al mejoramiento de la competitividad de los futuros egresados respecto a otras Instituciones que ofrecen sus programas académicos sobre este tema y así sumar información, prácticas y espacios adicionales a los recibido en las aulas de clase

La Universidad de la costa (C.U.C) ha iniciado un proceso de acreditación exigente, y se tiene como objetivo prioritario lograrlo. Dentro de los indicadores para alcanzar este objetivo es necesario contar con una planta física que corresponda a los criterios de calidad, que exigen los organismos de certificación y acreditación. La CUC, podrá recibir un aporte que sumaría a la mejorar los indicadores de calidad que involucren el estado de la planta física, particularmente el de sus laboratorios, temáticas y prácticas académicas, es por eso que esta propuesta apunta a entregar información clara y respaldada con guías de laboratorio para la comprobación de conocimientos y mejora de la calidad no solo de la planta física, si no también mejorar la académica. Los resultados del proyecto se utilizaran para mejorar dichos indicadores de calidad obteniendo beneficios no solo para la institución, si no también, para los futuros profesionales.

Este proyecto nace de la necesidad de obtener más información relacionada con los sistemas de puesta a tierra en materias importantes del ciclo profesional como son: Instalaciones Eléctricas, Subestaciones y Mediciones e instrumentación. En estas materias no existe laboratorios en los cuales se pueda poner en práctica lo que se aprenda en clase y este proyecto lo que busca es eso, que estas materias tengan no un laboratorio, pero si un material de estudio adicional.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar una guía académica para complementar la formación de la temática de sistemas de puesta a tierra, dirigido a los estudiantes de ingeniería eléctrica en la Universidad de la Costa.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar una guía que se focalice en implementar un sistema de puesta a tierra en función de las normativas vigentes.
- Desarrollar un método o instructivo que facilite la comprensión de un buen diseño de sistema de puesta tierra y sus normativas vigentes.
- Desarrollar guía de laboratorio para el desarrollo de un SPT que involucre temáticas de interés en las asignaturas de mediciones, instalaciones y subestaciones eléctricas.
- Lograr utilidad general del instrumento teluometro Marca Aitelong SAT-10C EarthTester que se encuentra en la universidad, con base en las experiencias de la guía de laboratorio.

## **4 MARCO TEORICO**

### **4.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO**

La guía de laboratorio tiene como finalidad principal complementar la formación teórica que reciben los estudiantes de ingeniería eléctrica en la universidad de la costa, yendo de la mano con la necesidad de darle utilidad a todos los recursos que se tienen en ella como son el teluometro, la variedad de terrenos disponibles y la disponibilidad de los laboratorios existentes. Esto conlleva a que exista la necesidad de un método bastante explicito para implementar cada uno de los procedimientos necesarios para obtener la experiencia, la cual es necesaria para el desarrollo e implementación de un SPT. Se debe aclarar que no todos los instrumentos de medición de tierra se utilizaran de igual manera debido a la configuración y la estructura electrónica de ellos, sin embargo los métodos que utilicen deben ser fundamentados en los estipulados por la normativa estándar . Teniendo presente que esta guía se fundamenta en el instrumento de medición de tierra que se tiene en la universidad actualmente, las experiencias están realizadas con base a este. Al momento de utilizar algún otro instrumento de mediciones de tierra se debe considerar el manual que se tenga para ese instrumento.

Con base en el desarrollo de todas las experiencias mostradas en la guía se busca que el estudiante al finalizarla se encuentre en la capacidad de realizar un diseño para una subestaciones eléctrica con cualquiera de sus características.

## **4.2 ESTADO DEL ARTE**

Durante la historia de la ingeniería eléctrica, el tema de sistemas de puesta a tierra ha adquirido una especial importancia como habilidad y conocimiento, para la cual encontramos abundante información sobre su base teórica, pero existe poca información sobre su aplicación en el ámbito educativo y su forma de medición e implementación, profundizan insistentemente en cálculo y normas. A continuación algunos antecedentes relacionados al tema de investigación realizados en el sector educativo internacional, nacional y local.

### **4.2.1 Estado del arte en el contexto internacional**

TITULO: REVISTA TECNOLOGICA DE INVESTIGACION, INTERACCION SOCIAL EN LA FACULTAD TECNICA UMSA (UNIVERSIDAD DEL MUSEO SOCIAL ARGENTINO)

La “Revista Tecnológica” de editorial Orvisa comunicaciones en su volumen 23 N° 76 de septiembre del 2009 publica en ella varios temas de los cuales uno esta relaciones con las mediciones necesarias que se realizan antes de hacer un diseño de Puesta a tierra como también la medición para verificar el buen funcionamiento de estos sistemas<sup>1</sup>.

TITULO: MANUAL DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.

El manual de sistemas de puesta a tierra realizado por el ingeniero Gregor Rojas nos muestra la secuencia de pasos para diseño e implementación de un SPT, abarcando gráficas y pruebas donde muestra de forma explícita, el manejo de los

---

<sup>1</sup> (S, 2005; Osorio, 2012)

instrumentos, procesos e implementación de los SPT sin dejar atrás la información general referente a las funciones de la soldadura exotérmica<sup>2</sup>.

#### **4.2.2 Estado del arte en el contexto nacional**

TITULO: SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE – 80 y evaluado con MEF (Ministerio de Economía y Finanzas)

Es un libro diseñado por los Ingenieros Electricistas José Samuel Ramírez Castaño, profesor titular de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y el ingeniero Eduardo Antonio Cano Plata, profesor asociado de la Universidad Nacional sede Manizales, ambos de la facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Su trabajo consiste en ofrecer un modelo de medición de sistemas de puesta a Tierra para subestaciones en base a la norma internacional IEEE 80. Muestras detalles de medición, evaluación del valor de resistencia del sistema entre otros temas. Este tipo de sistemas forman parte de un capítulo del material que se dicta en el curso de posgrados de la universidad nacional llamada calidad del servicio de energía eléctrica. Los autores consideraron importante este tema de sistemas de puesta a tierra que decidieron ampliarlo en su obra.

Los capítulos dos a siete centran su atención en el método de diseño de IEEE std 80, su respectiva técnica de medida, el IEEE std 81. El capítulo ocho trata una serie de ejercicios adicionales. Culminando la obra con una ruta bibliográfica<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> (Rojas, 2008)

<sup>3</sup> (Antonio., 2010)

#### 4.2.3 Estado del arte en el contexto local

TITULO: DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA APLICADA A LAS REGLAMENTACIONES VIGENTES.

En este proyecto de grado titulado "" presentado por el ingeniero **Rafael Daza Guzmán** egresado de la Universidad de la Costa, se muestra la aplicación de un diseño de sistema de puesta a tierra para la CUC, el autor de este trabajo pensó en esta investigación por el motivo de que el lugar no cuenta con un solo sistema de puesta a tierra común o unificado. El diseño expuesto en esta investigación fueron realizadas en base las normas RETIE e IEEE 80 mostrando como resultado final un diseño único de sistema de puesta a tierra para toda la planta en general<sup>4</sup>.

TITULO: Fundamentos de Sistemas de Puesta a Tierra.

En este proyecto los ingenieros Cesar Gil Arrieta y Carlos Suarez Landazábal, exponen la sistemática existente basada en la IEEE 80 para los Sistemas de Puesta a tierra. Con el motivo de instruir entorno a los métodos de medición y los sistemas de puesta a tierra con aplicaciones computarizadas. Al final de este libro encontramos una aplicación en Excel para el cálculo de SPT<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> (Daza, 2012)

<sup>5</sup> (Landazabal, 2009)



### **4.3 ALCANCES**

- Se realizara guía basada en experiencias de laboratorio relacionada con mediciones e implementación de sistemas de puestas a tierras.
- Se llevara a cabo una serie de pasos para mostrar al estudiante como medir la resistencia de terrenos para la implementación de sistemas de puestas a tierra (SPT).
- Se llevara a cabo una serie de pasos para mostrar al estudiante como calcular un sistema de puesta a tierra.
- Se dejara explicito la serie de pasos dado por la normativa vigente para el diseño de un SPT para subestaciones eléctricas.

## **4.4 UBICACIÓN**

A continuación se detalla la ubicación física en la cual se encuentra la población que tendrá una relación directa con la utilización de la guía de laboratorio de sistemas de puesta a tierra.

### **4.4.1 DELIMITACIÓN**

Esta guía será entregada para ser llevada a cabo en las instalaciones de la Universidad de la costa (C.U.C), , ubicada en Calle 58 No. 55 – 66.

### **4.4.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL**

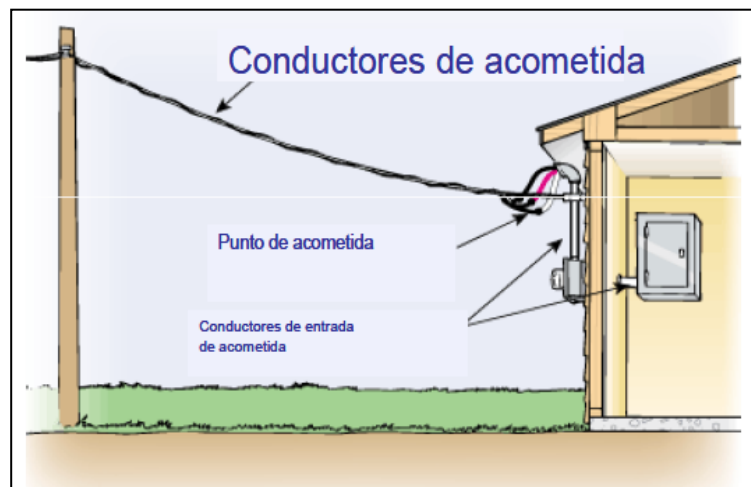


## 4.5 DEFINICIONES

A continuación se resalta un conjunto de definiciones que serán de utilidad para la comprensión, ejecución y aplicación de la guía de laboratorio dirigida a los estudiantes de la Universidad de la costa.

### a) Acometida

Derivación de la red local del servicio público domiciliario de energía eléctrica, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general<sup>6</sup>.



**Figura 1** Punto de conexión (acometida). [Sistemas de puesta a tierra. I.E César A. Agudelo Osorio. CIDET. Capacitación a electricistas de la planta de generación Termoguajira. Agosto 2012.]

---

<sup>6</sup> (Osorio, 2012)

### **b) Conductor puesto a tierra**

Conductor de una instalación o circuito conectado intencionalmente a tierra. Generalmente es el neutro de un sistema monofásico o trifásico en estrella.

### **c) Conductor de puesta a tierra de equipos**

Conductor utilizado para conectar las partes metálicas que no transportan corriente de los equipos, canalizaciones y otros encerramientos, al conductor puesto a tierra, al conductor del electrodo de tierra de la instalación o a ambos. Para la selección de este conductor ver tabla 250-95 de la NTC 2050<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> (ICONTEC, NTC 2050)

**Tabla 2** Sección transversal calibre conductor puesto a tierra

Intensidad o posición máxima del dispositivo automático de protección contra sobre intensidad en el circuito antes de los equipos, conductores, etc. (Amperios)	Sección	
	Cable de cobre	Cable de aluminio o de aluminio revestido de cobre.
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	1/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250 Kcmils
1600	4/0	350 Kcmils
2000	250 Kcmils	400 Kcmils
2500	350 Kcmils	600 Kcmils
3000	400 Kcmils	600 Kcmils
4000	500 Kcmils	800 Kcmils
5000	700 Kcmils	1200 Kcmils
6000	800 Kcmils	1200 Kcmils

#### **d) Sistema de puesta a tierra**

Es el conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente<sup>8</sup>.

#### **e) Sistema de puesta a tierra de protección**

Es el conjunto de conexión, encerramiento, canalización, cable y clavija que se acoplan a un equipo eléctrico, para prevenir electrocuciones por contactos con partes metálicas energizadas accidentalmente<sup>7</sup>.

#### **f) Sistema de puesta a tierra temporal**

Dispositivo de puesta en cortocircuito y a tierra, para protección del personal que intervienen en redes o líneas des energizadas<sup>8</sup>.

#### **g) Conexión equipotencial**

Conexión eléctrica entre dos o más puntos, de manera que cualquier corriente que pase, no genere una diferencia de potencial sensible entre ambos puntos<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> (ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 389/03)

#### **h) Electrodo de puesta a tierra**

Elemento o conjunto metálico conductor que se pone en contacto con la tierra física o suelo, ubicado lo más cerca posible del área de conexión del conductor de puesta a tierra del sistema<sup>9</sup>.

#### **i) Puente de conexión equipotencial principal**

Conexión entre el conductor puesto a tierra del sistema y el conductor de puesta a tierra del equipo en la acometida (Sólo al inicio)<sup>10</sup>.

#### **j) Equipotencializar**

Es el proceso, práctica o acción de conectar partes conductivas de las instalaciones, equipos o sistemas entre sí o a un sistema de puesta a tierra, mediante una baja impedancia, para que la diferencia de potencial sea mínima entre los puntos interconectados<sup>9</sup>.

#### **k) Interruptor de falla a tierra**

Interruptor diferencial accionado por corrientes de fuga a tierra, cuya función es interrumpir la corriente hacia la carga cuando se excede algún valor determinado por la soportabilidad de las personas<sup>10</sup>.

#### **l) Malla de tierra**

Es una placa sólida metálica o un sistema de conductores sin cubierta (forro) con espacios estrechos que se conectan y con frecuencia se colocan a pocas

---

<sup>9</sup> (Fabio, 2008)

<sup>10</sup> (Fabio, 2008)

profundidades sobre una rejilla de tierra o en otros sitios de la superficie de la tierra. Se trata de obtener una medida extra de protección minimizando el peligro de la exposición a altos voltajes de paso o toque en áreas o lugares de operaciones críticas que frecuentemente utilizan las personas. Son formas comunes de una malla de tierra, el enrejado metálico aterrizado, colocando en ó sobre la superficie del suelo o red (malla) de alambre colocada bajo el material superficial.<sup>11</sup>

#### **m) GPR (Ground Potential Rise)**

Es el máximo potencial al que se pone el sistema de puesta a tierra en caso de una falla con respecto a una tierra remoto.<sup>12</sup>

#### **n) Tensión de contacto**

Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra (GPR) y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo<sup>13</sup>.

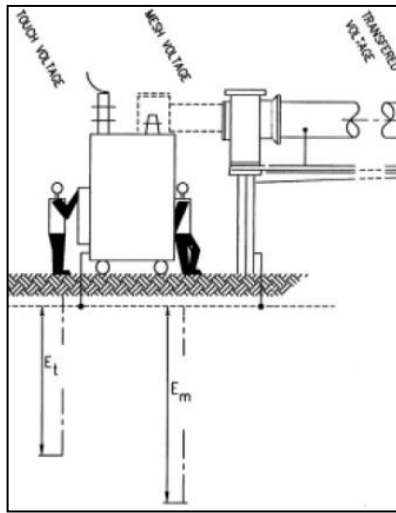
---

<sup>11</sup> (Fabio, 2008)

<sup>12</sup> (CIDET, 2012)

<sup>13</sup> (CIDET, 2012)

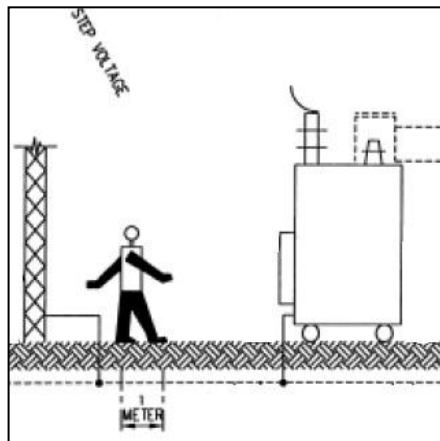




**Figura 2** Tensión de contacto [Sistemas de puesta a tierra. I.E César A. Agudelo Osorio. CIDET. Capacitación a electricistas de la planta de generación Termoguajira. Agosto 2012]

### o) Tensión de paso

Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso (Aproximadamente un metro)<sup>14</sup>.



**Figura 3** Tensión de paso [Sistemas de puesta a tierra. I.E César A. Agudelo Osorio. CIDET. Capacitación a electricistas de la planta de generación Termoguajira. Agosto 2012.

<sup>14</sup> (CIDET, 2012)

#### **p) Tensión transferida**

Es un caso especial de tensión de contacto, donde un potencial es conducido hasta un punto remoto respecto a la subestación o a una puesta a tierra<sup>15</sup>.

#### **q) Funciones de un SPT**

Un SPT tiene la función principal de garantizar las condiciones de seguridad de los seres vivos, permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas, servir de referencia al sistema eléctrico de una instalación, conducir y disparar con suficiente capacidad las de corriente de falla, electrostática, rayos entre otros y por ultimo ser una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos<sup>16</sup>.

#### **r) Factor de división de la corriente de falla**

Es un factor que representa al inverso de la relación de la corriente simétrica de falla a la parte de la corriente que fluye entre la rejilla de aterrizaje y en los alrededores del planeta tierra.

El factor de división de corriente podría cambiar durante la duración de la falla, por las diversas relaciones de decaimiento de las contribuciones a la falla y la secuencia de las operaciones de los dispositivos de interrupción. Sin embargo, para calcular el valor de diseño de la corriente máxima de rejilla y la corriente simétrica de rejilla, suponemos que la relación es constante durante la duración total de una falla dada<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup> (ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 389/03)

<sup>16</sup> (Fabio, 2008)

<sup>17</sup> (Std, 2000)

## **s) Tipos de puestas a tierra**

### **1. Sistemas de corriente continua**

Los sistemas de c.c. que se deben poner a tierra deben tener la conexión de puesta a tierra en una o más de sus funciones de alimentación. No se debe hacer conexión de puesta a tierra en las acometidas individuales ni en ningún otro punto de la instalación del predio.

Una conexión de puesta a tierra en sistemas de distribución de corriente continua de 3 hilos será efectuado al neutro del sistema en una o más estaciones de suministro. La conexión a tierra de un sistema de distribución de corriente continua de 2 hilos será efectuada solamente en una estación; de lo contrario, el lado puesto a tierra del circuito será aislado de la tierra. Las conexiones de puesta a tierra en servicios individuales o dentro de edificaciones están prohibidas.

Para los sistemas de corriente continua de 750 V o menos, la conexión a tierra debe hacerse sólo en la estación de suministro. En sistemas de corriente continua de mayor tensión, que deban ser puestos a tierra, una conexión del neutro es requerida tanto en las estaciones de suministro como en las de carga<sup>18</sup>.

A través de un sistema de puesta a tierra apropiado que asegure una capacidad de disipación adecuada. Finalmente otra fuente importante de disturbios son las redes de energía eléctrica, debido a la conmutación de sistemas y grandes cargas inductivas.

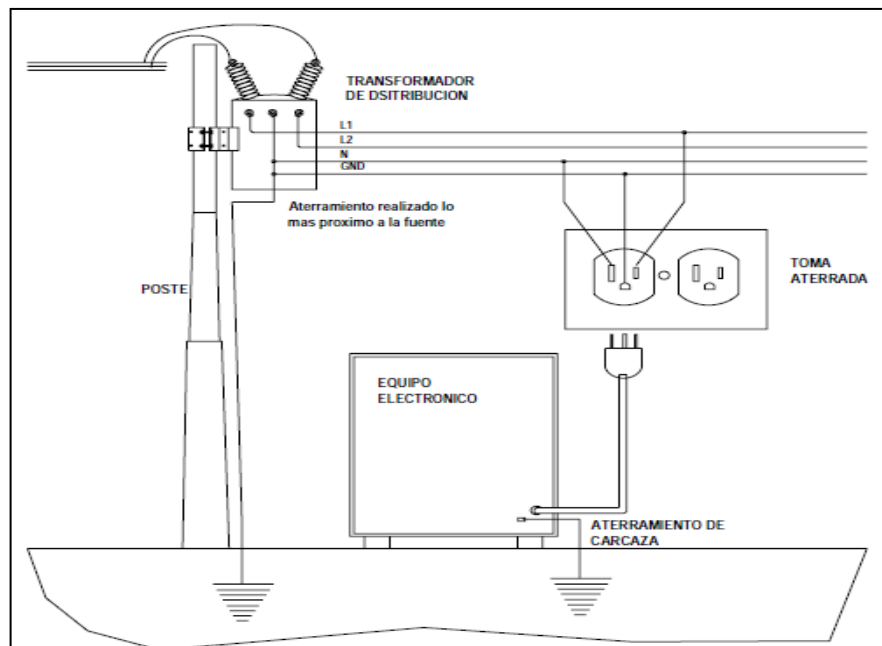
---

<sup>18</sup> **(Miguel, 2009)**

## 2. Equipos eléctricos

Para evitar la contaminación con señales en frecuencias diferentes a la deseada. Se logra mediante blindaje de toda tipo conectados a una referencia cero o a tierra. Otro de los elementos que se quieren proteger, son los semiconductores por sobre voltaje, se colocan dispositivos de protección de tal forma que se puedan limitar los picos de sobre tensión conectadas entre los conductores activos y tierra.

La puesta a tierra de los equipos electrónicos y de control, consta de una serie de electrodos instalados remotamente al edificio. En el interior se instala una barra de cobre electrolítico de dimensiones adecuadas montada a 2,6 metro sobre nivel de piso terminado con una leyenda indicativa, que es de uso exclusivo para el sistema de electrónica.



**Figura 4** Puesta a tierra de equipo electrónico [Sistemas de puesta a tierra. I.E César A. Agudelo Osorio. CIDET. Capacitación a electricistas de la planta de generación Termoguajira. Agosto 2012.

La resistencia a tierra máxima en este sistema deber ser de unos 2 Ohms, cuando no se alcanza la resistencia deseada, se instala algún elemento químico para reducir la resistividad del terreno y alcanzar así, la resistencia a tierra requerida<sup>19</sup>.

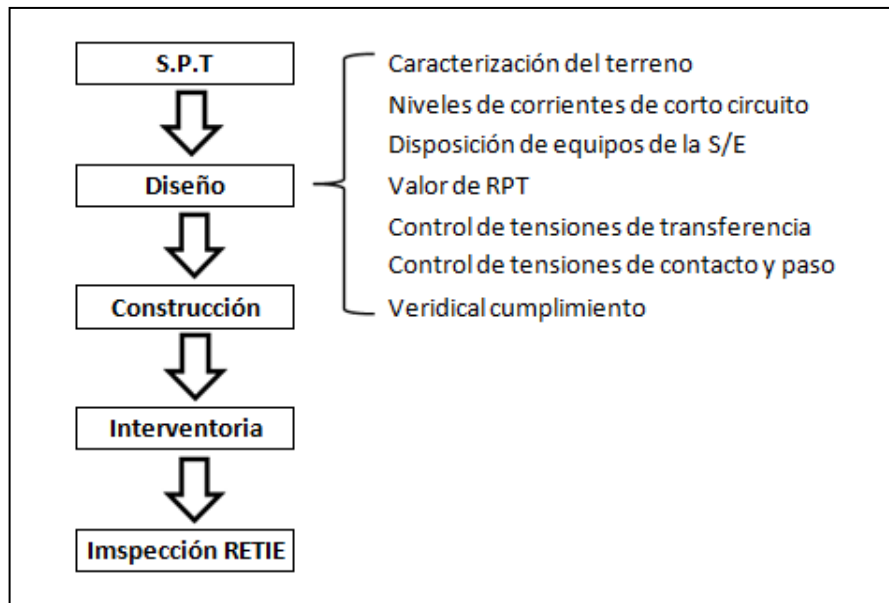
#### **t) Etapas de un SPT**

Para la realización de un buen sistemas de puesta a tierra, se tiene que tener en cuenta unos pasos, procedimientos o algoritmos de manera consecutiva que permiten la existencias de estos sistemas, todo comienza con el diseño, en este paso se realiza la caracterización del terreno, se verifican los niveles de corto circuito, se evalúa la disposición de los equipos de la S/E, se verifica el valor de RPT (Resistencia de puesta a tierra), con estos valores ya se tendrá un avance en el diseño, es ahí donde entra el cálculo y evaluación de las tensiones de paso, contacto y transferidas, y por últimos se verifica el cumplimiento del diseño, luego de esto se solicitan los materiales, equipos y personal para la construcción, durante esta, debe existir una interventora, la cual evaluara y velara para que la construcción cumpla con lo establecido en el diseño, adicional a esto, también existirá un inspector RETIE que verificara que se esté cumpliendo con la norma<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> **(Fabio, 2008)**

<sup>20</sup> **(Colombiana)**



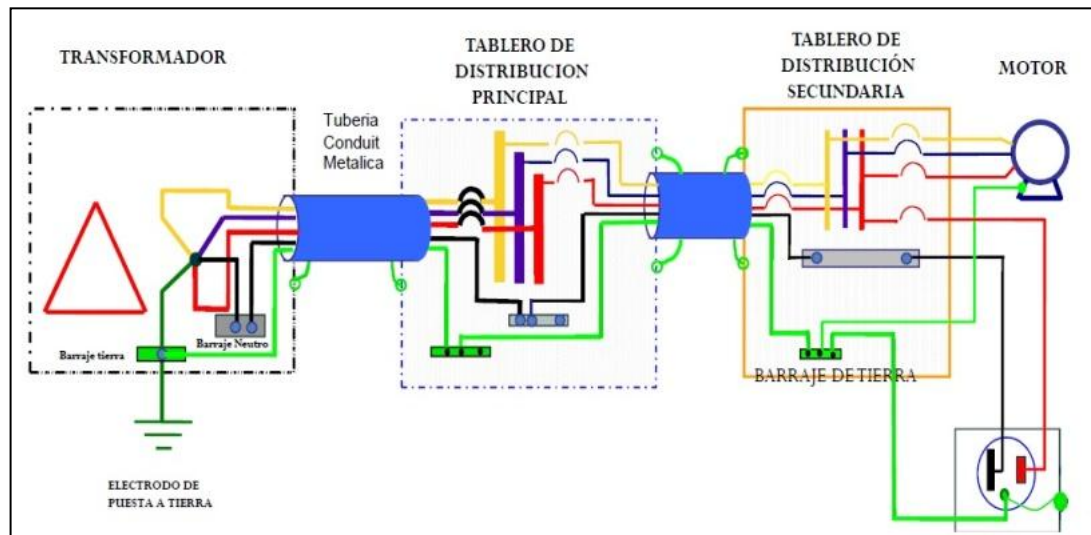
**Figura 5** Etapas para la implementación de un SPT [Sistemas de puesta a tierra. I.E César A. Agudelo Osorio. CIDET. Capacitación a electricistas de la planta de generación Termoguajira. Agosto 2012]

#### u) Componentes de un SPT

La primera etapa tenemos la conexión Delta – Estrella de un transformador trifásico, el electrodo de puesta tierra está conectado a un barrajes de tierra, este barraje de este punto se deriva en dos, uno conductor para el punto en común de las líneas trifásicas en estrella, y el otro de color **verde** entra a la tubería conduit, para conectarse con los barrajes de tierra del tablero de distribución principal y secundarios, de este tablero saldrán los circuitos ramales para cargas como motores, tomas, luces garantizando su conexión al sistema de puesta a tierra.

Ahora, del punto en común del devanado en estrella, se saca el neutro, este conductor esta equipotencializado con el barraje de tierra y solo en el inicio debe existir la equipotencialidad del barraje de tierra con el barraje de neutro, del cual saldrá el neutro que entrara a la tubería y llegara a los barrajes de neutro del tablero de distribución primario y secundario, recordando que en estos tableros no

debe conectarse los barrajes de tierra con los de neutro, solo en el inicio se debe garantizar esta conexión, esta configuración tendrá en los ductos tres líneas (**S** – **R** - **T**), un **neutro** y un conductor de **tierra**. En el caso de que las tuberías sean metálicas se recomienda aterrizarlas (Ver Fig 6. Componentes en un SPT)<sup>21</sup>.



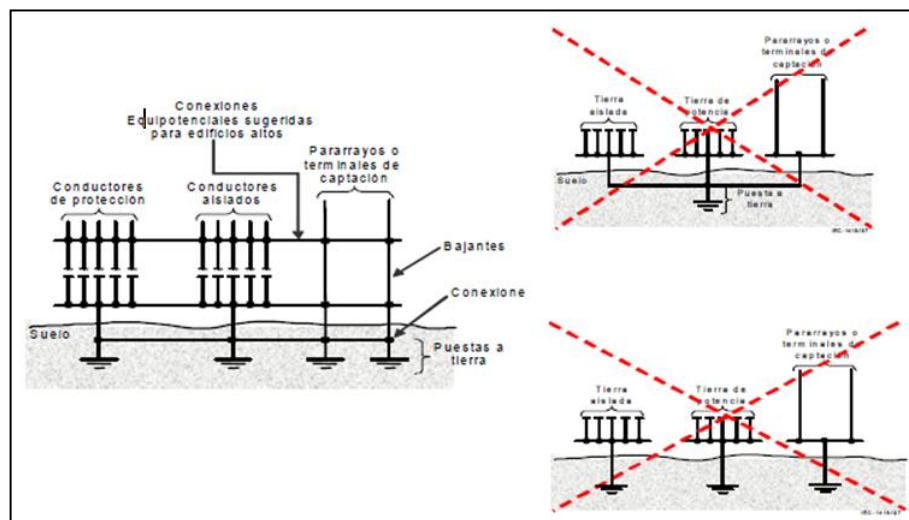
**Figura 6** Componentes en un SPT [DRANETZ]

#### v) Requisitos generales de las puestas a tierra

- ✓ Elementos metálicos que no forman parte de las instalaciones eléctricas, no podrán ser incluidos como parte de los conductores de puesta a tierra. (Pero no excluye que se equipotencialicen).
- ✓ Conexión de refuerzo estructural.
- ✓ Conexión bajo el suelo con soldadura o conector certificado para enterramiento directo.

<sup>21</sup> (CIDET, 2012)

- ✓ Se deben dejar puntos de conexión y medición accesible e inspeccionables al momento de la medición.
- ✓ No se permite el uso de aluminio en los electrodos de las puestas a tierra ya que estos son permisibles a la corrosión y más debajo de la tierra, el único material permitido para electrodos es el cobre.
- ✓ En sistemas trifásico de instalaciones de uso final con cargas no lineales, el conductor de neutro debe ser dimensionado con por lo menos el 173% de la capacidad de corriente de las cargas no lineales de diseño de las fases, para evitar sobrecargarlo, esto se debe a que pueden existir corrientes parasitas producto de los armónicos generados por las cargas no lineales.
- ✓ No se permiten tierras independientes en un solo complejo, lugar o instalación, debe ser dedicadas e interconectadas<sup>22</sup>.



**Figura 7** Sistemas de puestas a tierra dedicada e interconectada [RETIE. Cap 15.2]

<sup>22</sup> (Antonio., 2010)



## **w) RANGOS PERMISIBLES PARA EL CUERPO HUMANO**

Toda instalación eléctrica cubierta por los reglamentos de seguridad vigente, excepto donde se indique lo contrario, debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), de tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

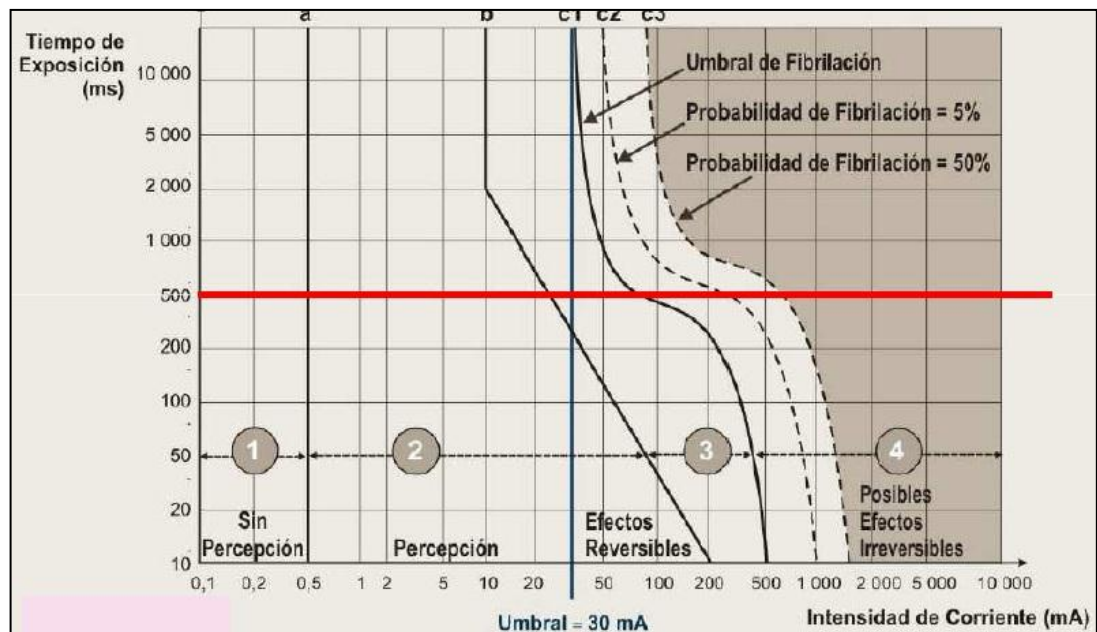
La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras que ante una sobretensión temporal, pueden desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red.

Debido a esas normativas y estándares existen unos criterios de seguridad, de los cuales se puede resaltar que es imposible garantizar que en condiciones de falla, bajo ninguna circunstancia circule corriente por el cuerpo humano, por esta razón es de total obligación que el diseñador de mallas a tierra conozca los rangos de corriente tolerables, para determinar algunas zonas de seguridad.

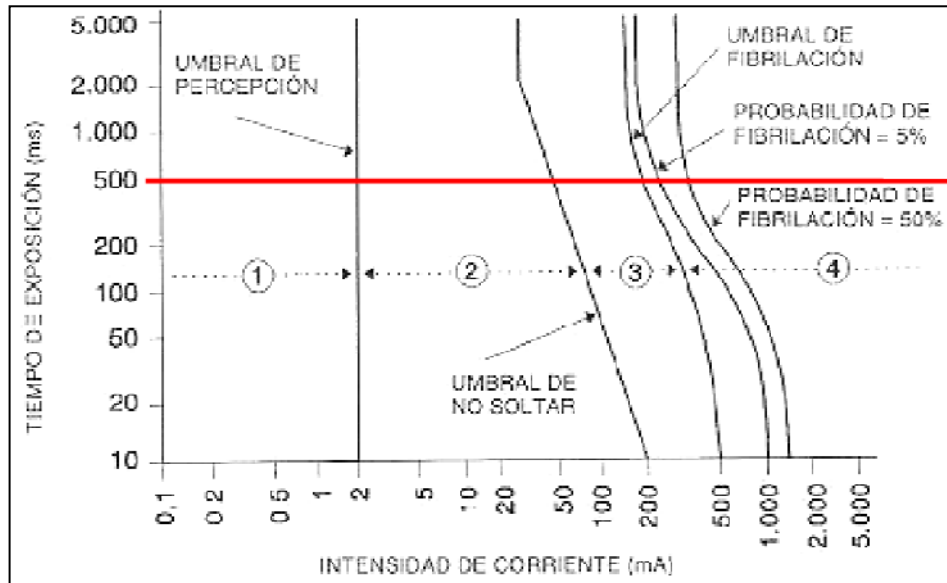
El resultado final del paso de una corriente eléctrica por el cuerpo humano puede predecirse con un gran porcentaje de certeza, si se toman ciertas condiciones de riesgo conocidas y se evalúa en qué medida influyen todos los factores que se conjugan en un accidente de tipo eléctrico, debido a que los umbrales de soportabilidad de los seres humanos, tales como el paso de corriente de (1,1mA), de reacción a soltarse (10mA) y rigidez muscular o de fibrilación (25mA) son valores muy bajos; la superación de dichos valores puede ocasionar accidentes como la muerte o la pérdida de algún miembro o función del cuerpo humano<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> (Tarbuck, 2005)



**Figura 8** Efectos de la corriente AC en el cuerpo humano. [IEC 60479]



**Figura 9** Efectos de la corriente DC en el cuerpo humano.[ IEC 60479]

Cuando se da la rigidez muscular pueden presentarse dos situaciones, una de expulsión del elemento energizado y la otra de sujetarlo y no soltarlo. En el segundo caso el tiempo se vuelve un factor crítico y se debe tener especial cuidado al tratar de separar la persona accidentada del elemento energizado.

## **x) MEDICIONES**

Hablar de mediciones es hablar de comparaciones de datos, estas comparaciones llevan a la toma de decisiones por medio de conclusiones y definiciones. Existen muchos campos donde es necesario la ayuda de equipos que nos ayuden a medir parámetros o valores, campos como la medicina, la ingeniería, la geología, microbiología, entre otros campos de interés para la sociedad actual.

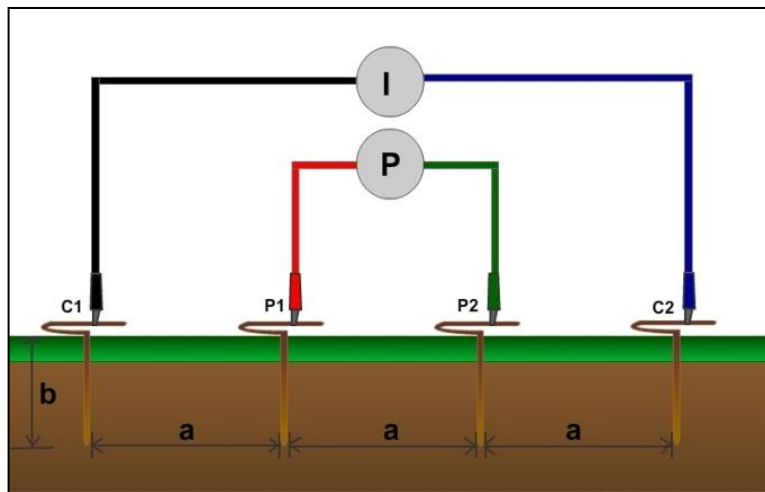
En lo que compete a la ingeniería eléctrica, y más exactamente en el diseño de sistemas de puesta a tierras, existen algunos parámetros los cuales puede que algunos estén tabulados en normas, pero otros necesariamente necesitan ser medidos y analizados de tal manera que se pueda comparar con los estándares de viabilidad para llevar estos datos a análisis y cálculos necesarios para un diseño óptimos y eficiente de estos sistemas.

Uno de los parámetros más útiles y necesarios para el diseño de sistemas de puesta a tierra es la resistividad del terreno donde se piensa instalar un SPT, no medir la resistividad de un terreno, está corriendo en una pista atlética con obstáculos y a ojos cerrados, las posibilidades de que el atleta tropiece es muy elevada, así pasa en los sistemas de puesta a tierra, no obtener esta información da pie a un mal diseño de SPT.

El suelo es un componente vital de estos sistemas, su medición es determinante para los cálculos a la hora de diseñar correctamente<sup>24</sup>.

### 1) Método Wenner

Consiste en la aplicación del principio de caída de potencial. Para realizar este método se utilizan cuatro electrodos ( $C_1$ ,  $P_1$ ,  $C_2$ ,  $P_2$ ), los cuales se ubican sobre una línea recta, separados uno de otro una distancia igual llamada  $a$ , cada electrodo debe estar introducido a una misma profundidad,  $b$ , que no debe exceder un décimo de la distancia  $a$ . La figura siguiente explica este método:



**Figura 10** Medición de la resistividad del terreno método wenner. [CASAS Ospina Fabio. “TIERRAS – Soporte de la seguridad”. Cuarta edición. Agosto 2008]

El método wenner consiste en la utilización del teluometro, este equipo tiene la opción de inyectar una corriente conocida por los electrodos de prueba  $C_1$  y  $C_2$ . Entre los electrodos de prueba  $P_1$  y  $P_2$  se mide la diferencia de potencial resultante

---

<sup>24</sup> ((Prof) & (MSc))

de la inyección de corriente anterior. Para calcular la resistividad se utiliza la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 - b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}}}$$

Para simplificar la expresión, se utiliza la aproximación:

$$a = 20b$$

Quedando entonces:

$$\rho = 4\pi aR$$

Donde  $\rho$  es la resistividad del terreno en  $\Omega.m$ ;  $R$  es la resistencia medida por el telurómetro y  $a$  es la distancia entre electrodos en metro. En relación a este método, deben tenerse presente los siguientes aspectos:

Es el más utilizado debido a que su implementación es fácil y su formulación es fácil, adicional a esto, algunos equipos de medida te arrojan la resistividad sin necesidad de calcular posteriormente nada, en otras palabras, trae incorporada la ecuación para el cálculo de resistividad.

Si la resistividad varía considerablemente con la profundidad, es aconsejable aumentar las mediciones, con el objetivo de obtener los valores de resistividad de las capas más profundas del terreno. Debido, a que la fuente de corriente del equipo penetra más capas de suelo tanto de forma vertical como horizontal.

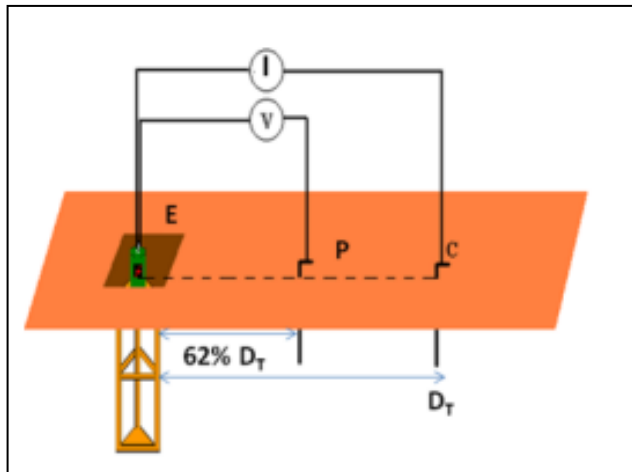
## **2) Método de la caída de potencial**

Este es el método más empleado para la medición de la resistencia de sistemas de puesta a tierra. Este método también es conocido por algunos autores como:

- Método de las dos picas
- Método de los tres puntos
- Método del 62%

El medidor de uso común para la prueba de resistencias de tierra es el óhmetro de tierra que debe tener una calibración vigente.

El método consiste en extender el cable de corriente a su máxima longitud y colocar la punta lo más profunda posible, el otro conductor corresponde al de tensión, este se coloca a una distancia correspondiente al 62% de la longitud del cable de corriente y por ultimo un tercer cable se coloca en el electrodo puesto a tierra, este método se utiliza para cuestiones de mantenimiento los cuales consisten en conocer y llevar un seguimiento de la condición actual del sistema de puesta a tierra midiendo su resistencia.



**Figura 11** Método de la caída de potencial para medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra. [“Método caída de potencial”. International Trading S.A. de C.V. Empresa de servicios para el diseño e instalación de SPT en México.]

Los electrodos de potencial y corriente (**C** y **P**) deben clavarse a una profundidad de 50 a 60 cm aproximadamente, y deben estar firmemente clavados en el suelo y tener un buen contacto con el electrodo puesto a tierra.

Con el fin de obtener una medida correcta, los tres electrodos deben estar bien alineados y la distancia entre E y P debe ser un 62% de la distancia entre E y C (Distancia Total, DT). Esta distancia está basada en la posición teóricamente correcta para medir la resistencia exacta del electrodo para un suelo de resistividad homogéneo.

La distancia aconsejable entre el electrodo de puesta a tierra E y el de corriente C es de 20 metros. Para comprobar la exactitud de los resultados y asegurar que el electrodo bajo prueba está fuera del área de influencia del de corriente, se deberá cambiar de posición el electrodo de potencial P. La primer medición se hace con el electrodo auxiliar P a la distancia  $0.62 \times DT$ . La medición se debe repetir a las distancias  $0.52 \times DT$  y  $0.72 \times DT$ .

Si los dos resultados obtenidos no difieren en más de un 10 % con respecto a  $0.62 \times DT$ , entonces el primer resultado será el correcto. En caso de una diferencia superior al 10 % se debe incrementar la distancia entre el electrodo auxiliar de corriente C y el electrodo de puesta a tierra bajo prueba E, repitiendo el procedimiento anterior hasta que el valor de resistencia medido se mantenga casi invariable.

Se recomienda repetir el proceso variando la posición de los electrodos auxiliares C y P con respecto al electrodo de tierra ( $180^\circ$  o al menos  $90^\circ$ ). El resultado final a considerar será el valor medio de los resultados obtenidos.

Una excesiva resistencia de los electrodos auxiliares puede impedir que la corriente que debe pasar por el electrodo de corriente C pase por el mismo o que no se pueda medir el potencial a través del electrodo potencial P. Muchos equipos de medición cuentan con indicadores que parpadean si la medida no es válida. Esto puede deberse a un mal contacto con el suelo o por elevada resistividad del mismo. En estos casos, se recomienda compactar la tierra que rodea a los electrodos de modo que se eliminen capas de aire entre los mismos y la tierra. Si el problema es la resistividad, se puede mojar el área alrededor del electrodo, con lo que está disminuirá.

### **3) CONDICIONES DEL TERRENO**

Un diseño de sistema de puesta a tierra (SPT) nunca sería posible de realizar si no se cuenta con un terreno actor para su montaje, por eso es útil y necesario, conocer como está compuesta la corteza de nuestro planeta o litosfera, de esta manera podemos saber exactamente en qué parte de la corteza terrestre es que se ubica un sistema de puesta a tierra.



Todos los sistemas de puesta a tierra se hacen en su parte superior denominada pedósfera, aunque se tiene conocimiento de que se conocen aproximadamente 92 elementos químicos que existen en la corteza terrestre. Por tanto, el número de posibles combinaciones es tan alto que se han reconocido cerca de 3000 minerales, aunque unos pocos son de vital importancia.

ELEMENTOS QUÍMICOS	%
Hierro	34,6
Oxígeno	29,54
Silicio	15,2
Magnesio	12,7
Níquel	2,4
Azufre	1,9
Titanio	0,05
Otros	3,65

**Tabla 3.** Composición química de la corteza terrestre

La tierra tiene una estructura compuesta por cuatro grandes zonas o capas: la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera. Estas capas poseen diferentes composiciones químicas y comportamientos geológicos. Su naturaleza puede estudiarse a partir de la propagación de ondas sísmica en el interior y a través de las medidas de los diferentes momentos gravitacionales de las distintas capas obtenidas por diferentes satélites orbitales.

Los geólogos han diseñado dos modelos geológicos que establecen una división de la estructura terrestre, el modelo geostático y el modelo geodinámico.

### **Propiedades de los suelos que se tienen en cuenta para el diseño de un sistema de puesta a tierra.**

Uno de los malos conductores de electricidad conocidos, es el suelo, este generalmente se comporta como un semiconductor o un aislante en especial cuando está totalmente seco el suelo. Es aquí donde entre una definición o concepto que se tiene muy en cuenta para el diseño de sistemas de puesta a tierra, este es la resistividad, su valor describe el comportamiento de un material cuando éste, está en la presencia de un flujo de corriente eléctrica, este comportamiento que tiene una relación entre el tipo de material conductor y la corriente da como resultado, una idea de lo buen o mal conductor que es. Es por ello que se pueden dar valores altos de resistividad los cuales indican que el material es un mal conductor de la corriente eléctrica, para el caso contrario, donde la resistividad tiene valores bajos de resistividad, lleva a concluir que el materia es un buen conductor.

Material	$\rho. \Omega.m$
Aluminio	$2.65 \times 10^{-8}$
Cobre	$1.65 \times 10^{-8}$
Hierro	$9.71 \times 10^{-8}$
Niquel	$6.84 \times 10^{-8}$
Oro	$2.35 \times 10^{-8}$
Plata	$1.59 \times 10^{-8}$
Mercurio	$95.8 \times 10^{-8}$
Tungsteno	$5.51 \times 10^{-8}$
Constantán (Cu 60, Ni 40)	$49 \times 10^{-8}$
Nicromo	$100 \times 10^{-8}$
Germanio (puro)	0.46
Germanio ( $5 \times 10^{-60}$ % As)	0.011
Grafito	$1.4 \times 10^{-5}$
Solución (saturada) de NaCl	0.044
Azufre	$2 \times 10^{15}$
Cuarzo ( $SiO_2$ )	$1 \times 10^{13}$
Madera	$10^{-8} - 10^{11}$
Oxido de aluminio	$1 \times 10^{14}$
Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
Yodo	$1.3 \times 10^7$

**Tabla 4** Resistividad de algunos materiales.

La resistividad  $\rho$  y coeficiente de temperatura de la resistividad  $\alpha$  para algunos materiales a 20°C. Los materiales para los que  $\rho < 10^{-6} \Omega.m$  son buenos conductores, los materiales para los que  $10^{-3} \Omega.m < \rho < 1 \Omega.m$  son conductores pobres (Semiconductores), y los materiales para los que  $\rho > 10^6 \Omega.m$  son buenos

dieléctricos. Los espacios que aparecen sin valores en la columna 3 indican que no requieren de un coeficiente para indicar la resistividad

El suelo es un sistema complejo, en el que tienen lugar procesos físicos, químicos y biológicos, compuesto de sólidos, líquidos y gaseosos irregularmente dispuestos y asociados en proporciones diversas. La parte sólida está formada por minerales, óxidos hidratados, materia orgánica y organismos vivos, en la que posee mayor estabilidad y se usa para caracterizar el suelo. Algunas de las propiedades de estos materiales, afectan considerablemente el comportamiento de la resistividad, tales como:

### **Actividad electroquímica.**

En la frontera entre las rocas y el agua, al igual que entre las soluciones de diversas concentraciones, ocurre fenómenos de polarización espontánea que provocan campos eléctricos por fenómenos de difusión-absorción, filtración o de oxidación-reducción. La intensidad de estos campos se agrupa en el parámetro llamado actividad electroquímica.

### **Anisotropía**

La estructura particular de las rocas provoca la variación de la resistividad en función de la dirección. Este fenómeno se acrecienta en las rocas compuestas de varias capas, en las cuales la resistividad será mayor en la dirección transversal y menor a lo largo de la estratificación. Este fenómeno (propiedades físicas diferentes en todas las direcciones) se cuantifica con el coeficiente de anisotropía que relaciona las resistividades longitudinal y transversal.

### **Compactación y presión del suelo**

Un suelo más compacto presenta una mayor continuidad física, lo que en principio facilita una mejor conductividad, siempre y cuando se llegue a las capas de menor resistividad. Por lo anterior, es recomendable esperar un cierto tiempo después de construida una puesta a tierra, para realizar la medición “oficial” de su resistencia.

### **Composición del terreno**

Los rangos de resistividad, según la composición del terreno son muy amplios. En un sitio determinado, no es posible dar los valores de resistividad hasta no hacer la medición. Sucede, incluso, que para una misma clase de terreno, situada en distintas regiones, la resistividad puede ser sensiblemente diferente.

### **Concentración de sales**

Siendo la resistividad de un suelo dependiente de la cantidad de agua retenida en éste, y conociéndose el hecho de que la resistividad del agua está gobernada por las sales disueltas en ésta (conducción electrolítica), se concluye que la resistividad del suelo es influenciada por la cantidad y tipo de sales disueltas en esta agua.

### **Estratificación del suelo**

La composición del suelo es generalmente estratificada en varias capas o formaciones diferentes (consecuentemente de resistividades diferentes). Este hecho presenta una contradicción con muchos textos y memorias de cálculo de proyectos, donde se asume que el suelo es uniforme.

## **Humedad del suelo**

La resistividad del suelo disminuye en la medida que aumenta la humedad del suelo. Posibilita los procesos electrolíticos necesarios para dispersar la carga eléctrica que es absorbida por la tierra.

## **Resistividad del terreno ( $\rho$ )**

Es el parámetro más importante para hacer un diseño de una puesta a tierra. No tomarlo en cuenta es ir contra del diseño adecuado de un sistema de puesta a tierra.

## **Temperatura del suelo**

Este factor influye sobre la velocidad del momento de los iones. Una temperatura elevada (cerca de los 100 °C) provoca evaporación disminuye la humedad del suelo y aumenta la resistividad. Por otro lado, al considerar que la resistividad del suelo es sensiblemente influenciada por el agua contenida en éste y que el agua posee un alto coeficiente negativo de temperatura, es un hecho que la resistividad tiende a crecer para temperaturas menores a 0 °C.

### **y) Diseño de un sistema de puesta a tierra según IEE 80 Std.**

El método utilizado en la actualidad para el diseño e implementación de sistemas de puestas a tierra es la norma IEEE 80, este contiene una serie de normativas y pasos a seguir que garantizan el buen diseño de estos sistemas, el no cumplir con esta norma acarrea problemas de funcionamiento haciendo peligrosa su aplicación, por tal razón de esta norma se resaltan las siguientes especificaciones:

- Geometría cuadrada, rectangular, en L o en T.
- Distancia de separación entre conductores paralelos entre 3m y 15 m.
- Las profundidades comunes de la malla debe ser entre 0.5m y 1.5m.
- El calibre conductor de estas mallas son entre 2/0 AWG y 500 kcmil.
- El tamaño de la retícula de la malla debe ser uniforme.
- Solo se pueden instalar electrodos verticales (varillas) solo en condiciones de uniformidad en la periferia o área total de la malla.
- Aplicar lo más que se puede en terrenos homogéneos con un solo valor de resistividad.

#### **i. Secuencia y algoritmo para el diseño**

#### **ii. Información de campo**

Se necesita de un mapa con la localización general de los equipos de la subestación, para así saber exactamente qué área de interés eléctrico demanda protección a personal humano y equipos. Se debe realizar la medición de resistividad del suelo para obtener el perfil del mismo, ya con su valor se inicia su diseño, sin este es imposible comenzar a calcular una malla de puesta a tierra.

#### **1. Calculo calibre conductor**

La sección transversal de un conductor se determina a partir de las ecuaciones dadas en el numeral 5.2 de la IEEE 80.

$$A = \frac{I_g}{\sqrt{\left(\frac{TCAP * 10^{-4}}{tc * \alpha r * pr}\right) * \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

Dónde:

A: Sección del conductor, mm<sup>2</sup>

I<sub>g</sub>: Corriente de corto circuito, kA

T<sub>m</sub>: Temperatura máxima permisible núcleo malla, °C

T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente, °C

T<sub>c</sub>: Tiempo máximo duración corriente falla, Seg

T<sub>r</sub>: Temperatura referencia para la constante del material, °C

α<sub>r</sub>: Coeficiente térmico resistividad a la temperatura referencia, °C

ρ<sub>r</sub>: Resistividad conductor de tierra a temperatura de referencia, μΩcm

$$Ko = \frac{1}{\alpha r} - Tr$$

Estos valores de la ecuación, son constantes características dependiendo del tipo de material conductor más varilla de puesta a tierra, para ellos existe una tabla que se encuentra en la página 42 de la IEEE 80 llamada constante de materiales.

Esta tabla muestra información de los tipos de materiales con los cuales están hechas las diversas varillas que se utilizan en las mallas para subestaciones eléctricas la cual se compone de lo siguiente:



Descripción	Conductividad del material	$\alpha_r$ , Factor a 20 °C (1/°C)	$K_o$ a 0 °C (0 °C)	Temperatura de fusión, $T_m$ (0 °C)	$\rho_r$ a 20 °C ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	TCAP capacidad térmica
Cobre recocido	100	0,00393	234	1083	1,72	3,42
Cobre estirado en frío	97	0,00381	242	1084	1,78	3,42
Acero cobrizado	40	0,00378	245	1084	4,4	3,85
Aluminio comercial	61	0,00403	228	657	2,86	2,56
Aleación de aluminio 5005	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,6
Aleación de aluminio 6201	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,6
Acero aluminizado	20,3	0,0036	258	657	8,48	3,58
Acero galvanizado	8,6	0,0032	293	419	20,1	3,93
Acero inoxidable	2,4	0,0013	749	1400	72	4,03

**Tabla 5.** Constante de materiales [IEEE. Std 80. Guide for Safety in AC substation Grounding. Approved 30 January 2000]

Al aplicar estas constante en la ecuación de sección transversal del conductor se tendrá la información exacta de que calibre se necesita para la malla sin importar otros criterios de selección ya que existen casos comunes que sin calcular, seleccionan un calibre 4/0, ese criterio es empírico, por tal razón no garantiza las condiciones de funcionamiento y viola la normativa estipulada por la IEEE 80.

Luego de calcular el valor en  $\text{mm}^2$  del conductor a utilizar, se procede a seleccionar el calibre, para ellos se utiliza la tabla 250 – 94 de la NTC 2050 (Norma Técnica Colombiana) ubicada en la sección 250 pagina, que habla de todas las normativas que hay que tener en cuenta con respecto al tema de SPT.

Sección Transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo				Sección transversal (calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra			
cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre		cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre	
mm²	AWG o kcmil	mm²	AWG o kcmil	mm²	AWG o kcmil	mm²	AWG o kcmil
33,62 o menor	2 o menor	53,5 o menor	1/0 o menor	8,36	8	13,29	6
42,2 o 53,5	1 o 1/0	67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	13,29	6	21,14	4
67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	107,21 o 126,67	4/0 o 250 kcmil	21,14	4	33,62	2
107,21 hasta 177,34	4/0 hasta 350 kcmil	152,01 a 253,35	300 a 500 kcmil	33,62	2	53,5	1/0
202,68 a 304,02	400 a 600 kcmil	278,68 a 456,03	550 a 900 kcmil	53,5	1/0	85,02	3/0
329,35 a 557,37	650 a 1100 kcmil	506,7 a 886,73	1000 a 1750 kcmil	67,44	2/0	107,21	4/0
608,04 y más	1200 kcmil y más	912,06 y más	1800 y más kcmil	85,02	3/0	126,67	250 kcmil

**Tabla 6.** Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de c.a [NTC 2050. Sección 250. “Puesta A Tierra”]

### Tensiones tolerables

Las tensiones máximas permitidas, se determinan teniendo en cuenta las corrientes máximas tolerables por el cuerpo humano y el circuito equivalente que forma el cuerpo cuando está de pie o toca un objeto, y están dadas por las siguientes formulaciones (de acuerdo al criterio de los 70 kg de peso):

### Tensión de paso tolerable

$$E_{p70} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_c}} * 0,157$$

Esta fórmula determina la tensión de paso tolerable para una persona que pesa máximo 70 Kg y lo más recomendable es siempre diseñar las mallas a tierra con un peso como este ya que personas con menor peso estarán dentro del rango de seguridad y las posibilidades de tránsito de personas de mayor peso son menores. Y de esta ecuación se tiene que:

$E_{p70}$ : Tensión de paso tolerable a un cuerpo de 70 kg, V.

$\rho_s$ : Resistividad superficial de la gravilla,  $\Omega m$ .

$t_c$ : Tiempo máximo de duración de la corriente de falla, Seg.

$C_s$ : Factor o coeficiente de reducción.

### Tensión de contacto tolerable

$$E_{c70} = \frac{(1000 + 1,5 * C_s * \rho_s)}{\sqrt{t_c}} * 0,157$$

Esta fórmula determina la tensión de contacto tolerable para una persona que pesa máximo 70 Kg y lo más recomendable es siempre diseñar las mallas a tierra con un peso como este.

Y de esta ecuación se tiene que:

$E_{c70}$ : Tensión de contacto tolerable a un cuerpo de 70 kg, V.

$\rho_s$ : Resistividad superficial de la gravilla,  $\Omega m$ .

$t_c$ : Tiempo máximo de duración de la corriente de falla, Seg.

$C_s$ : Factor o coeficiente de reducción.

El factor de reducción  $C_s$  se calcula mediante la siguiente relación:

$$C_s = 1 - \frac{0,09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0,09}$$

Dónde:

$h_s$ : Espesor de la capa de gravilla de la subestación, m.

$\rho_s$ : Resistividad superficial de la gravilla,  $\Omega m$ .

$\rho$ : Resistividad del terreno,  $\Omega m$ .

### **Diseño preliminar**

Todo diseño inicial considera una malla rectangular en la cual se necesitan las dimensiones de largo y ancho, separación de cables paralelos y la dimensión de longitud de las varillas, con estos valores se determina la longitud efectiva del conductor de la malla de tierra (cable y varillas enterrados).

$$L_c = \left(\frac{L_x}{D} + 1\right) * L_y + \left(\frac{L_y}{D} + 1\right) * L_x$$

Donde:

$L_x$ : Longitud horizontal de la malla.

$L_y$ : Longitud vertical de la malla.

D: Espaciamiento entre conductores.

$$Lt = Lc + (Nr * Lr)$$

Donde:

$N_R$ : Numero de varillas en la malla.

$L_r$ : Longitud de varilla enterrada en la malla.

En base a esto se tendrá que la longitud total efectiva de la malla (Conductor y varilla (L), es el resultado de la sumatoria entre  $L_C$  con  $L_R (N_R * L_r)$ .

### Calculo de la resistencia de puesta a tierra

La resistencia de la malla de puesta a tierra se calcula mediante la siguiente fórmula, que aplica para mallas enterradas a una profundidad de 0,25m a 2,5 m. Para realizar este cálculo es necesario ya haber obtenido el valor medido de resistividad del suelo ( $\rho$ ).

$$R_g = \rho * \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 * A_m}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{\frac{20}{A_m}}} \right) \right]$$

Donde:

$R_g$ : Resistencia de la malla de puesta a tierra.

$L$ : Longitud total efectiva del sistema incluyendo la malla y los electrodos [m].

$A_m$ : Área de la malla.

$h$ : Profundidad inicial de enterramiento de la malla de puesta a tierra.

$\rho$ : Resistividad del terreno.

Este cálculo tiene una relación directa con el nivel de tensión al cual se está trabajando o al tipo de aplicación, ya sea, baja tensión, media tensión, alta tensión, protección contra rayos y estructuras de líneas de transmisión. Para ellos existe una tabla en el RETIE que proporciona información para saber si esta resistencia de malla cumple o no con respecto a las características del terreno.

<b>Aplicación</b>	<b>Valores máximos de resistencia de puesta a tierra</b>
Estructuras de líneas de transmisión o torrecillas metálicas de distribución con cables de guarda.	20 $\Omega$
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 $\Omega$
Subestaciones de media tensión.	20 $\Omega$
Protección contra rayos.	20 $\Omega$
Neutro de acometida en baja tensión.	20 $\Omega$

**Tabla 7.**Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra. [IEEE. Std 80. Guide for Safety in AC substation Grounding. Approved 30 January 2000]

El valor calculado debe ser menor o igual a lo establecido por esta tabla, según la aplicación, si no cumple los parámetros: espaciamiento, número de varillas o área de la malla, es necesario hacer modificaciones en los parámetros de espaciamiento, número de varillas o área de la malla serán nuevamente seleccionadas hasta obtener el  $R_g$  deseado.

## Máxima corriente de falla

Luego de calcular o tener la información de la corriente de falla, hay que determinar el factor de división de corriente el cual es una relación de flujo de corriente entre la red de conexión a tierra y la tierra circundante, al tener este valor, se multiplica por la corriente de falla ya determinada o calculada por medio de la siguiente formula.

$$I_g = I_f * S_f$$

Donde:

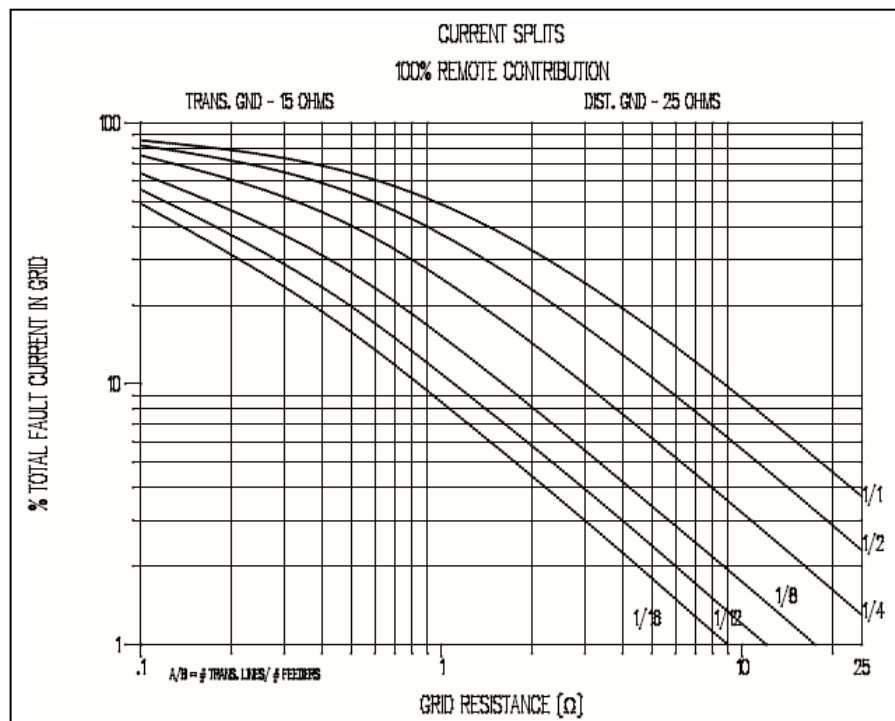
$I_g$ : Corriente simetrica de falla, porcion de corriente simetrica a tierra que circula entre la malla de tierra y la tierra circundante. Corriente maxima que disipara la malla.

$S_f$ : Factor de division de la corriente de falla, factor que relaciona el inverso de la relacion de la corriente simetrica de falla y la porcion de esta corriente que circulan entre la malla de tierra y la tierra circundante.

$I_f$ : Corriente de falla determinada o calculada sin tener en cuenta la division de la corriente que se presentara en el sistema.

Para determinar el valor de  $S_f$  existe un metodo grafico, el cual consiste en conocer cuantas lineas de transmision y distribucion entran y salen de la subestacion, adicional a esto conocer la resistencia que hay en el terreno donde estan instaladas las estructuras metalicas, dependiendo de estos parametros y visualizando en las graficas se podra obtener este factor para asi poder seguir diseñando la malla a tierra, para ello a continuacion se vera las graficas que ayudaran a encontrar el valor de  $S_f$ .

En la parte superior de la grafica se muestra la resistencia correspondiente a las torres de transmision y distribucion, en la parte izquierda se encuentra el porcentaje de corriente de falla que se conoce como factor de division, en la parte inferior de la grafica la resistencia del terreno donde se instalara la malla a tierra, y dentro de la grafica hay un numero de curvas numeradas las cuales indican cual es el numero de lineas de transmision que entraran a la subestacion y cuantas de distribucion salen de la misma, todo esto para fines de diseño.



**Figura 12.** Curva de proximidad de factor de división de corriente para una resistencia de transmisión de  $15\Omega$  y distribución  $25\Omega$ . [IEEE. Std 80. Guide for Safety in AC substation Grounding. Approved 30 January 2000]

Luego de obtener el factor de división de corriente  $S_f$ , este se multiplica por el valor de corriente de falla  $I_G$ , la cual debe de cualquier manera reflejar el peor tipo de falla y su localización incluyendo expansiones futuras.



## Calculo del GPR

Es el máximo potencial al que se pone el sistema de puesta a tierra en caso de una falla con respecto a una tierra remota. En el caso remoto que exista una falla y la malla no esté bien diseñada, cualquier persona podría estar expuesta a estar ubicada en el GPR que es un punto del área total de la malla donde la corriente de falla puede estar presente en su máxima expresión, aumentando la probabilidad de que existan corrientes de paso y de contacto.

Si el GPR del diseño preliminar está por debajo del voltaje de paso tolerable, también tenemos que no se necesitara un análisis adicional. Solamente será necesario dejar conductores adicionales para dar acceso a las terminales de aterrizaje de los equipos.

$$GPR = I_g * R_g$$

Luego de calcular este valor se debe cumplir la condición de que el GPR sea menor que la tensión de contacto ya calculada ( $GPR < E_{C-70}$ ), de esta manera finaliza los cálculos y se puede montar la malla con sus distintas puntas o extensiones para conectar los equipos y se finaliza con los detalles del diseño.

En el caso que la condición sea que el GPR sea mayor que la tensión de contacto ya calculada ( $GPR > E_{C-70}$ ), entonces deben de calcularse las tensiones de **malla** y de **paso** en caso de falla.

### Tensión de retícula o malla ( $E_m$ )

Esta tensión se determina con la realización de una operación matemática en la cual sus componentes son el factor geométrico ( $K_m$ ), factor correctivo ( $K_i$ ), resistividad del terreno ( $\rho$ ), máxima corriente de falla que fluye entre la malla de tierra y la tierra alrededor ( $I_G$ ) y la longitud efectiva del conductor de la malla de tierra ( $L_M$ ).

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_m}$$

Donde:

$K_m$ : valor geométrico de espaciamiento de la malla, calculado con la siguiente ecuación:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{Kh} \ln \left( \frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right]$$

Para mallas con varillas de tierra a lo largo del perímetro, o para mallas con varias varillas de tierra en las esquinas, así como para ambas,  $K_{ii}=1$ ; donde  $K_{ii}$  es un factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de la malla.

Para mallas sin varillas de tierra, o sólo unas pocas, ninguna localizada en las esquinas o sobre el período:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}}$$

$K_h$  es un factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla, dado por:

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \text{ con } h_0 = 1m$$

$n$  representa el número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente, y está dado por:

$$n = n_a n_b n_c n_d$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}; \quad n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}; \quad n_c = \left[ \frac{L_x * L_y}{A} \right]^{\frac{0,7A}{L_x * L_y}}; \quad n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Para mallas cuadradas:  $n = n_a$  ya que  $n_b = n_c = n_d = 1$

Para mallas rectangulares:  $n = n_a * n_b$  ya que  $n_c = n_d = 1$

Para mallas en forma de L:  $n = n_a * n_b * n_c$  ya que  $n_d = 1$

Donde:

$L_c$ : Longitud total de los conductores de la malla horizontal en m.

$L_p$ : Longitud del perímetro de la malla en m.

$L_x$ : Longitud máxima de la malla en la dirección X, en m.

$L_y$ : Longitud máxima de la malla en la dirección Y, en m.

$D_m$ : Distancia máxima entre dos puntos cualquiera de la malla, en m.

$K_i$ : es el factor de irregularidad y se define como:

$$Ki = 0,644 + 0.148n$$

Para mallas sin varillas de tierra o para mallas con sólo unas pocas varillas esparcidas a través de la malla pero ninguna localizada en las esquinas o a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada ( $L_M$ ) es:

$$Lm = Lc + Lr$$

Donde:

$L_R = n_r * L_r$  (Longitud total de todas las varillas.

$n_r$  = Numero de varillas.

$L_r$  = Longitud de cada varilla.

Para mallas con muchas varillas de tierra en las esquinas, así como a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada ( $L_m$ ) es:

$$Lm = Lc + \left[ 1.55 + 1.22 \left( \frac{Lr}{\sqrt{Lx^2 + Ly^2}} \right) \right] Lr$$

**Tensión de paso ( $E_p$ )**

$$Ep = \frac{\rho * Ig * Ks * Ki}{Ls}$$

para mallas con o sin varillas de tierra, la longitud efectiva del conductor enterrado  $L_s$  es:

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_r$$

Se asume que el  $E_p$  máximo ocurre sobre una distancia de 1m hacia fuera del conductor perimetral en el ángulo que bisecta la esquina más extrema de la malla.

El valor de  $K_s$  se calcula si:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

Esta ecuación es válida para profundidades de enterramiento de  $0.25m < h < 2.5m$ .

Si la tensión de malla ( $E_m$ ) calculado es menor que la tensión tolerable de contacto ( $E_{C-70}$ ), se requiere completar el diseño. Si la tensión de malla calculada es mayor que la tensión tolerable de contacto ( $E_m > E_{C-70}$ ), el diseño debe ser modificado.

Si ambas tensiones calculadas de contacto y de paso son menores que las tensiones tolerables, el diseño solo necesita los refinamientos requeridos para proporcionar acceso a los bajantes de los equipos. Si no, el diseño preliminar debe ser modificado.

Si se excede las tensiones tolerables de contacto y paso, es necesaria la revisión del diseño de la malla. Estas revisiones pueden incluir espaciamientos de conductores más pequeños, varillas adicionales de tierra, etc.

Después de satisfacer los requerimientos de tensiones de paso y de contacto, se pueden requerir varillas de tierra y malla adicional. Los conductores adicionales de malla se requieren si el diseño no incluye conductores cerca de los equipos a ser

puestos a tierra. Se puede requerir varillas adicionales en la base de los pararrayos, neutros de transformadores, etc. El diseño final también será revisado para eliminar peligros debido a potenciales transferidos y peligros asociados con áreas de interés especial.

### **Acondicionamiento del suelo para obtener una resistividad aceptable.**

Con frecuencia, es imposible obtener la reducción deseada de resistencia de tierra agregando más conductores o más varillas de tierra a la malla. Una solución alternativa es incrementar de manera efectiva el diámetro de los electrodos, modificando el suelo alrededor del electrodo. Los métodos más conocidos son los siguientes:

- ✓ El uso de bentonita, es un elemento no corrosivo, estable y tiene una resistividad de  $2.5 \Omega\text{-m}$  al 300% de humedad. Es de naturaleza higroscópica.
- ✓ El uso de sales como cloruro de sodio, magnesio y sulfatos de cobre, o cloruro de calcio, para incrementar la conductividad del suelo alrededor del electrodo. El problema de estas sales es que emigran a otras áreas.
- ✓ c) El uso de electrodos de tipo químico que constan de un tubo de cobre relleno de una sal. Los agujeros en el tubo permiten la entrada de humedad, disolver las sales y permitir que la solución de sal se filtre en la tierra.
- ✓ d) Materiales artificiales de tierra, de baja resistividad colocados alrededor de las varillas y de los conductores en la zanja. En Colombia se conocen como Hidrosolta y Fabigel.

- ✓ e) Electrodo revestido de concreto, donde el concreto por ser un material higroscópico y que atrae la humedad, al ser enterrado en el suelo se comporta como un semiconductor mediano con resistividades de 30 a 90  $\Omega$ -m, pero facilita la corrosión.

## **z) Instalaciones eléctricas**

Existen muchos métodos para la instalación de sistemas de puesta a tierra residenciales o edificios en general, estos métodos deben tener unas consideraciones específicas al momento de su construcción y montaje de la misma, por tal razón la construcción y el montaje de esta se debe garantizar.

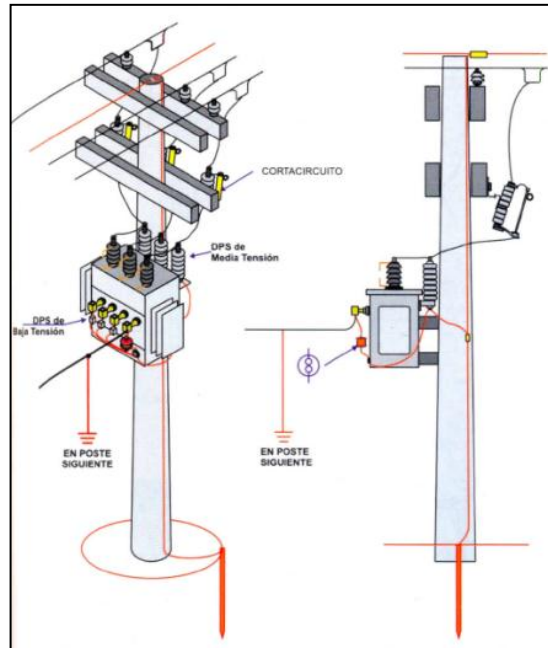
Para el diseño de sistemas de puesta a tierra para una subestaciones eléctrica de alta tensión, existe un proceso el cual se debe cumplir de manera general, que no aplica en el caso de instalaciones domiciliarias y residenciales, los cálculos son parecidos pero aún más flexibles ya que aquí en estos lugares no se instalan mallas grandes, no existen líneas de entrada y salida de transmisión o distribución respectivamente y las corrientes de fallas no son tan grandes como en una subestación eléctrica, generalmente se utilizan electrodos o pequeñas cuadrículas para aterrizar el sistemas y en algunos casos se adecua el terreno con componentes externos para mejorar la resistividad en el lugar.

A continuación se muestra una secuencia de imágenes que ilustran las maneras adecuadas con la que se debe construir y configurar las conexiones para garantizar la protección del sistema.

En primera instancia para estos tipos de puestas a tierra hay que tener consideraciones especiales como la profundidad para diversas aplicaciones como subestaciones tipo poste, viviendas, edificios, aparte de esto también se tiene que

tener encuentra la equipotencialidad del barraje de tierra y el barraje de neutro en el tablero principal.

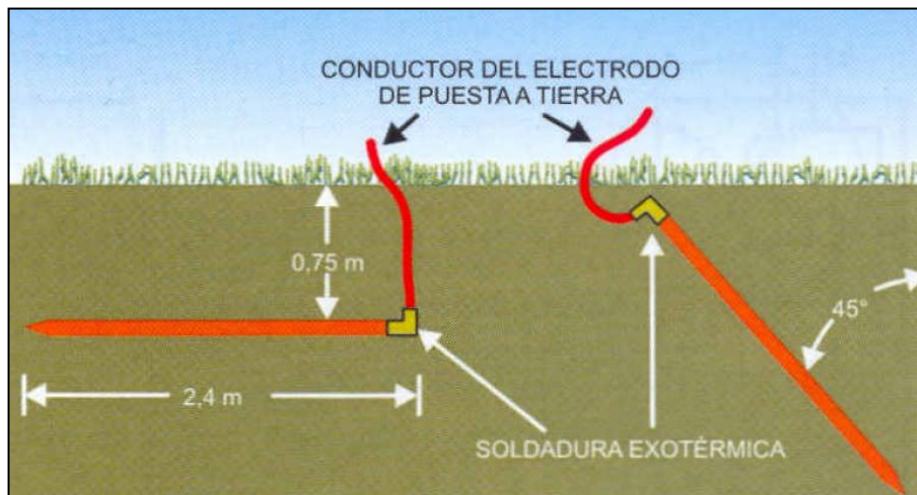
Para instalaciones de puesta a tierra en subestaciones tipo poste para zonas urbanas Fig. 13 se anota la construcción e instalación de sistema de puesta a tierra, la conexión con la tierra y el neutro del transformador, adicional a esto se tiene el apantallamiento para la red que alimenta el circuito del transformador. Estas conexiones corresponder a las redes de distribución que se encuentran en las ciudades para alimentar casas, las cuales cada una tiene su puesta a tierra fija para la protección de los equipos y personas de la vivienda en caso de falla, adicional a esto la red que alimenta las viviendas también deben estar aterrizadas correctamente por lo que se define que debe existir una coordinación de conexiones tanto en el transformador como en la vivienda para así se logre adecuadamente proteger la vida humana, equipos eléctricos y electrónicos.



**Figura 13.** Conexión de puesta a tierra para subestación tipo poste de zonas urbanas. . [CASAS Ospina Fabio. “TIERRAS – Soporte de la seguridad”. Cuarta edición. Agosto 2008]

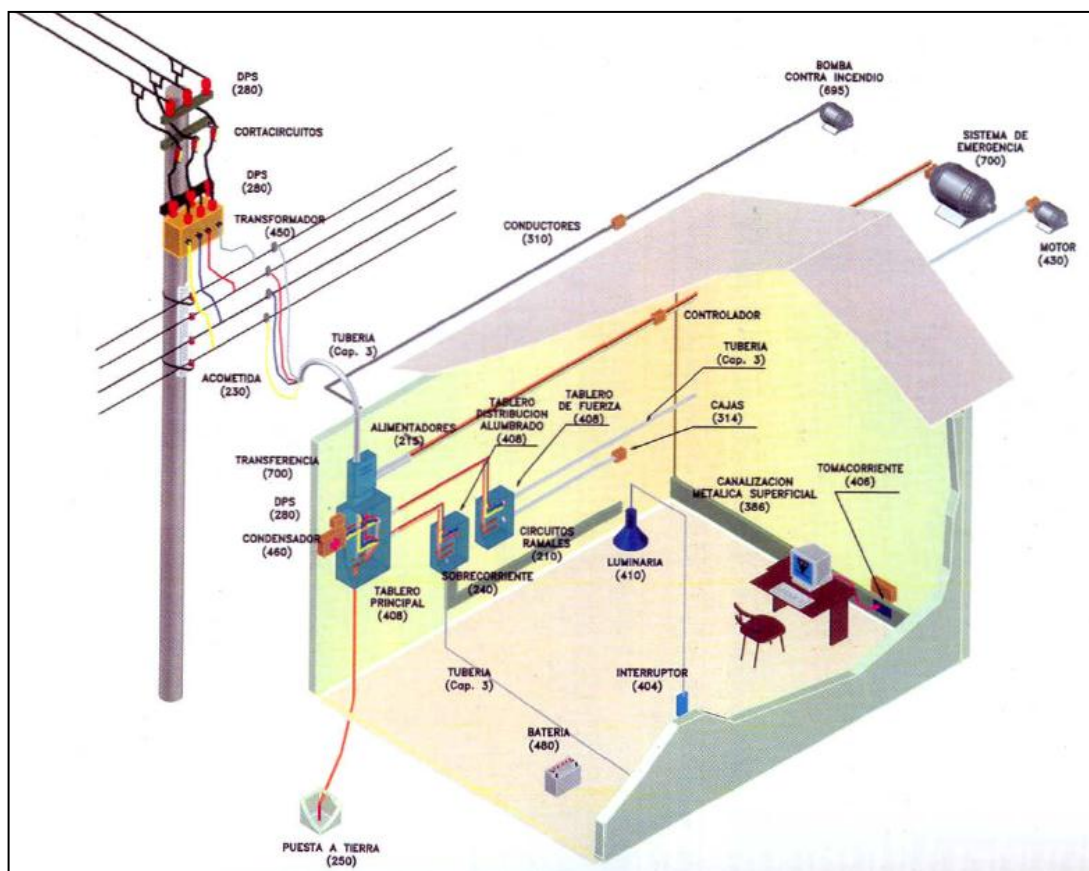






**Figura 15.** Instalación de electrodo tipo varilla. . [CASAS Ospina Fabio. “TIERRAS – Soporte de la seguridad”. Cuarta edición. Agosto 2008]

Luego de instalar la puesta a tierra viene la interconexión de los equipos que necesitan ser protegidos y alimentados por la red para eso se necesita para una buena instalación eléctrica el diseño de las acometidas, calibres de conductor, protecciones, tomas, swiches, luminaria, banco de baterías de emergencia, motores entre otros, los cuales componen el sistema de la instalación y van ligados a la conexión de puesta a tierra. En la figura 16 vemos una ilustraciones de todo el sistema de una instalación eléctrica.

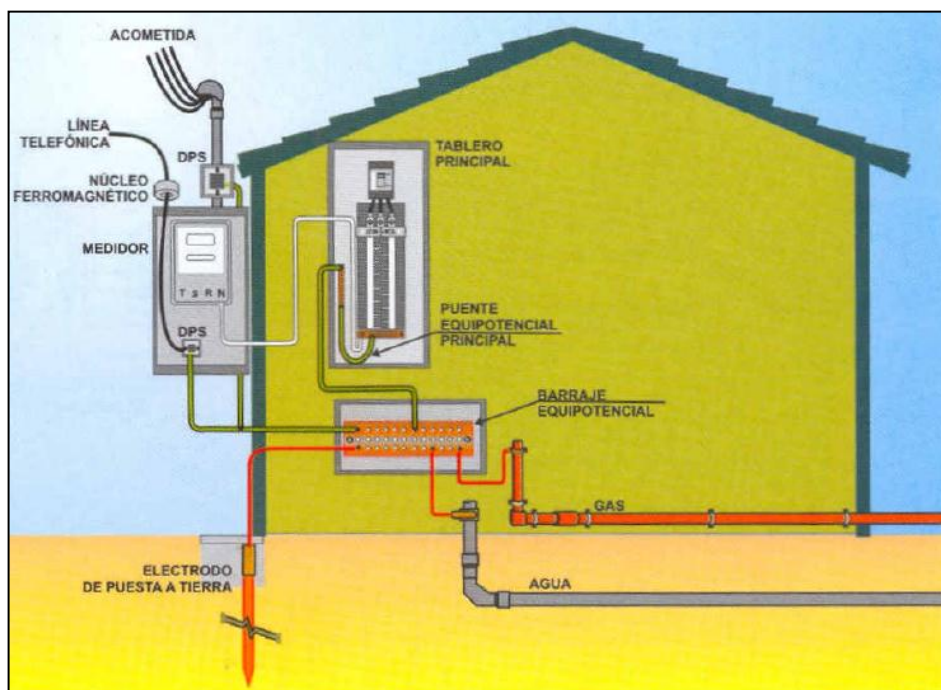


**Figura 16.** Instalación de electrodo tipo varilla. . [CASAS Ospina Fabio. “TIERRAS – Soporte de la seguridad”. Cuarta edición. Agosto 2008]

Para el caso de instalaciones especiales como hospitales donde está en riesgo la vida de personas que necesitan o dependen de equipos que necesitan corriente eléctrica, es importante que estas tengan un buen sistema de protección en lugares claves como salas de cirugía, emergencias o cuidados intensivos.

La ilustración que nos muestra la figura 28 nos ilustra cómo debe ser una conexión de sistemas de puesta a tierra para estos lugares.

A continuación se muestra otro tipo aplicación de instalaciones eléctricas de sistemas de puesta a tierra sugeridas en el libro de tierras del ingeniero Fabio Ospina Casas.



**Figura 17.** SPT para medidores de energía. . [CASAS Ospina Fabio. “TIERRAS – Soporte de la seguridad”. Cuarta edición. Agosto 2008]

## **5 DISEÑO METODOLÓGICO**

El estudio sigue el siguiente procedimiento para analizar la información recopilada y realizar así sus conclusiones cuantitativas y cualitativas. Esta guía se hizo utilizando los conocimientos relacionados con los distintos y diversos métodos para medir la resistividad del terreno, métodos que se pueden realizar con el Teluometro marca Aitelong SAT-10C EarthTester,

Este nuevo instrumento de medida adquirido por la Universidad de la costa (CUC), es el que fundamenta esta guía, ya que con sus funciones logra que los estudiantes utilicen y comprendan el proceso sistemático de los conceptos de resistencia y resistividad, logrando los objetivos señalados en las experiencias, además ofrece diversas actividades y ejercicios para el entrenamiento, comprensión y utilización de este teluometro.

Al terminar la guía se pretende conseguir que los estudiantes aprendan los principios básico para realizar un diseño de sistema de puesta a tierra, partiendo de la utilización adecuada del teluometro con el fin de determinar la resistencia del terreno y a partir de este dato seguir con el diseño de un sistema de puesta a tierra, para ellos la guía está compuesta de la siguiente manera:

### **5.1 Bases de la guía de laboratorio**

Esta guía de laboratorio de Sistemas de Puesta a Tierra contiene 13 experiencias elaboradas con base en un enfoque teórico-práctico apoyado en el instrumento de medición Teluometro Marca Aitelong SAT-10C EarthTester. Este permite realizar una serie de mediciones las cuales se explican en su totalidad para revisar la resistividad del terreno y realizar un correcto diseño de sistemas de puesta a tierra.

Medir la resistividad de los suelos constituye un entrenamiento fundamental para comprender la realización de estudios sobre terrenos antes de su construcción y calcular las distintas formas en las que los sistemas de puesta a tierra pueden ser aplicados. El Teluometro es un instrumento fundamental para la medición de esta propiedad y de su correcta utilización depende la precisión de las medidas hechas.

## **5.2 Características de las guías de laboratorio**

Los aspectos presentados en esta guía sedimentan las bases para el desarrollo de la práctica e implementación de los SPT. Al desarrollar esta guía el estudiante tendrá las capacidades para llevar a cabo un diseño de puestas a tierra. Por tanto, cada una de las guías están conformadas por dos partes: procedimiento e informe de laboratorio.

### **5.2.1 Estructura**

Cada experiencia está estructurada para la fácil comprensión, siendo autodidacta y fácil de comprender, para eso las experiencias de esta guía que son 13 cuenta con la siguiente estructura:

#### **5.2.1.1 Tema**

Cada experiencia tendrá un título el cual corresponderá a la actividad que tendrá que realizar el estudiante porque lo que previamente tendrá que realizar investigaciones para así iniciar la ejecución de las actividades que tendrá como meta.

#### **5.2.1.2 Objetivos**

Cada experiencia tiene como objetivo que los estudiantes puedan lograr y obtener una nueva habilidad y conocimiento. Cada experiencia consta de un objetivo general y varios específicos.

#### **5.2.1.3 Requisitos teóricos (Información previa a la práctica)**

Para la realización de la experiencia, previamente los estudiantes deberán realizar una investigación con el fin de tener bases teóricas que los ayuden a realizar las actividades solicitadas en la guía. Los medios de consulta son de total libertad del estudiante pero de igual forma se recomienda consultar la monografía que contiene todos los conceptos y definiciones.

#### **5.2.1.4 Procedimiento**

En esta parte de la experiencia, se dan las indicaciones paso a paso de las pruebas y ensayos a realizar, que datos tomar y donde tabular los resultados

#### **5.2.1.5 Análisis de los datos**

Es el análisis del resultado obtenido para determinar si el procedimiento que se realizó cumple lo esperado, dando como resultado la obtención de los logros obtenidos durante el desarrollo de esta.

### **5.2.2 Informe**

El informe final son los resultados obtenidos por el estudiante, datos, análisis y conclusiones de la experiencia realizada. El contenido del informe será entregado por los alumnos con base a la siguiente estructura:

#### **5.2.2.1 Datos y observaciones**

El informe debe contener los datos o parámetros con los cuales trabajaron en la experiencia y explicar cada uno de ellos, dando a conocer que papel tienen en esta y cómo influyen en la obtención de resultados.

#### **5.2.2.2 Tablas o gráficos**

Durante la ejecución de la actividad algunas de las experiencias conllevaran al desarrollo y análisis de tablas y gráficos los cuales deben ser realizados con precisión y claridad.

#### **5.2.2.3 Cálculos y resultados**

Existen experiencias que manejan el tema de análisis y cálculos matemáticos, los cuales deben ser plasmados de forma clara, para que así las respuestas obtenidas no varíen respecto al resultado que se desea. Todas estas deben ser analizadas previamente debido a que las circunstancias pueden variar, según el procedimiento que se haga.

#### **5.2.2.4 Conclusiones y discusión**

El estudiante debe concluir con base en lo desarrollado durante el procedimiento, ya que de esta manera, socializa el tema de la experiencia, se conocen los



resultados obtenidos y se verifica si las tablas y gráficos corresponden a la temática manejada en esta.

### **5.2.3 Respuestas a las preguntas**

Las preguntas se encuentran al finalizar el procedimiento de la experiencia, estas son realizadas con base al tema tratado, por esta razón los estudiantes tendrán la capacidad de resolver todas y cada una de ellas con argumento y facilidad, basándose en el informe presentado que contiene los datos, tablas, cálculos y gráficos que fueron analizados durante el desarrollo de esta.

### **5.2.4 Evaluación de la experiencia**

Esta guía será evaluada bajo los criterios del docente encargado el cual notificara a los alumnos previamente el porcentaje de evaluación. Se sugiere que los siguientes aspectos sean tenidos en cuenta como son: condiciones del informe, que este cumpla con la presentación adecuada esto conllevara que los análisis realizados de los cuadros, gráficos, cálculos y tablas cumplan con los resultados que se desean. Además se debe tener en cuenta las características del lugar donde se realizara la experiencia ya que éstas pueden variar según el tipo de actividad que se esté realizando ya que de esta forma las conclusiones a las cuales se llegaran estarán acorde con el objetivo planteado.

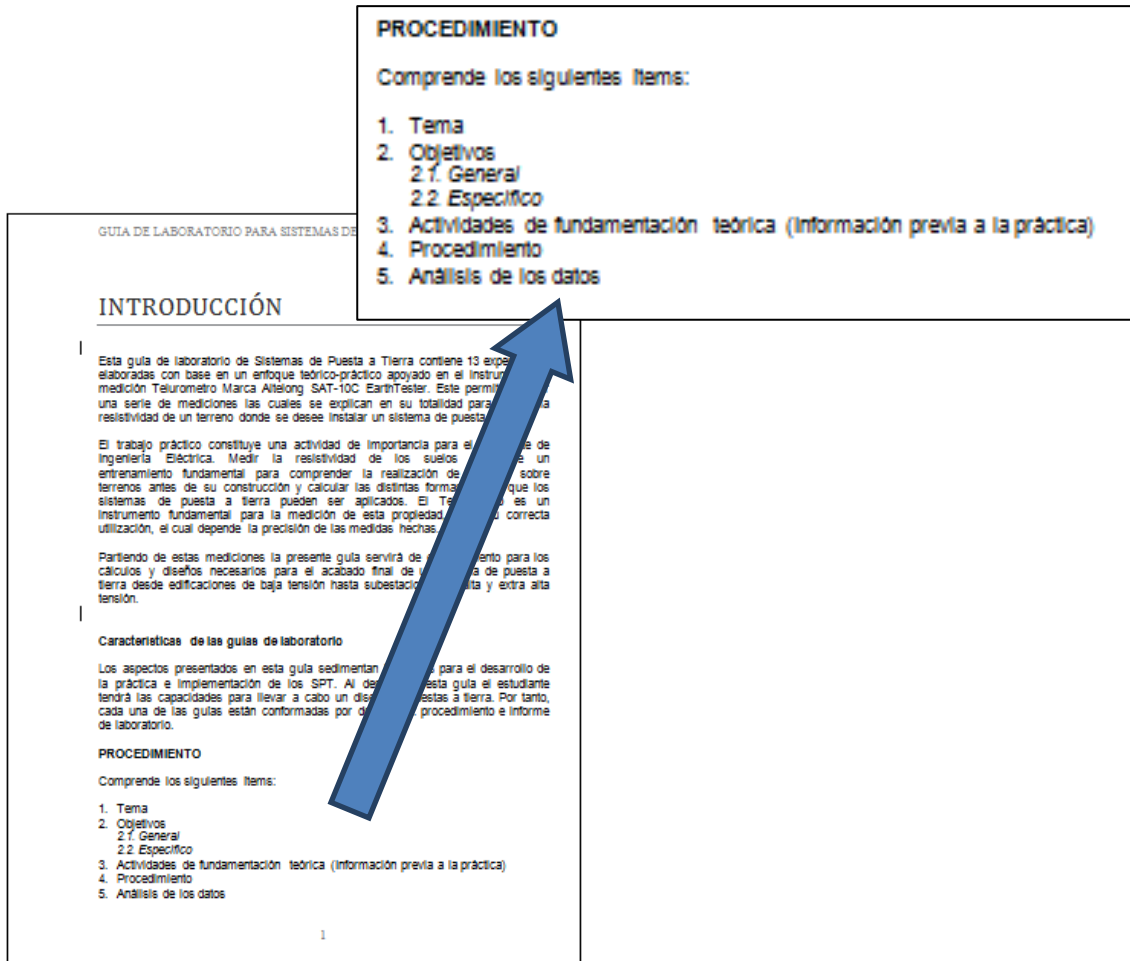
## **6 Guía de laboratorio**

Durante la investigación inicial de sistemas de puesta a tierra se identificó como necesidad conocer y utilizar el instrumento de medida conocido como Teluometro, la universidad cuenta con este equipo, marca Aitelong SAT-10C EarthTester. Este permite realizar una serie de mediciones las cuales se explican en su totalidad

para revisar la resistividad del terreno y realizar un correcto diseño de sistemas de puesta a tierra.

El trabajo práctico constituye una actividad de primordial importancia para el estudiante de Ingeniería Eléctrica. Medir la resistividad de los suelos constituye un entrenamiento fundamental para comprender la realización de estudios sobre terrenos antes de su construcción y calcular las distintas formas en las que los sistemas de puesta a tierra pueden ser aplicados. El Teluometro es un instrumento fundamental para la medición de esta propiedad y de su correcta utilización depende la precisión de las medidas hechas.

A continuación se muestra a manera de ilustración, la estructura de cómo la guía se encuentra desarrollada:



#### INFORME

El informe final es el resultado de los datos obtenidos, análisis y conclusiones de la experiencia realizada. El contenido del informe estará conformado por:

1. Datos y observaciones
2. Tablas-gráficos
3. Cálculos y resultados
4. Conclusión y discusión
5. Respuestas a las preguntas

#### EVALUACION DE LA EXPERIENCIA

Esta será evaluada bajo los criterios del docente encargado el cual notificará a los alumnos previamente el porcentaje de evaluación. Se sugiere que los siguientes aspectos sean tenidos en cuenta:

1. Presentación del informe.
2. Claridad de conceptos.
3. Evaluaciones adicionales o previas a los laboratorios.
4. Análisis de los cuadros y gráficos.
5. Características del lugar donde se realizará la experiencia.
6. Conclusiones.

#### INFORME

El informe final es el resultado de los datos obtenidos, análisis y conclusiones de la experiencia realizada. El contenido del informe estará conformado por:

1. Datos y observaciones
2. Tablas-gráficos
3. Cálculos y resultados
4. Conclusión y discusión
5. Respuestas a las preguntas

#### INFORME

El informe final es el resultado de los datos obtenidos, análisis y conclusiones de la experiencia realizada. El contenido del informe estará conformado por:

1. Datos y observaciones
2. Tablas-gráficos
3. Cálculos y resultados
4. Conclusión y discusión
5. Respuestas a las preguntas

#### EVALUACION DE LA EXPERIENCIA

Esta será evaluada bajo los criterios del docente encargado el cual notificará a los alumnos previamente el porcentaje de evaluación. Se sugiere que los siguientes aspectos sean tenidos en cuenta:

1. Presentación del informe.
2. Claridad de conceptos.
3. Evaluaciones
4. Análisis de los cuadros y gráficos.
5. Características del lugar
6. Conclusiones.

#### EVALUACION DE LA EXPERIENCIA

Esta será evaluada bajo los criterios del docente encargado el cual notificará a los alumnos previamente el porcentaje de evaluación. Se sugiere que los siguientes aspectos sean tenidos en cuenta:

1. Presentación del informe.
2. Claridad de conceptos.
3. Evaluaciones adicionales o previas a los laboratorios.
4. Análisis de los cuadros y gráficos.
5. Características del lugar donde se realizará la experiencia.
6. Conclusiones.

## Experiencia 1

1. **TEMA:** FUNCIONAMIENTO DEL TELUROMETRO AITELONG SAT-10C.

### 2. OBJETIVOS

#### 2.1. General

- *Analizar correctamente el Telurometro, sus funciones y sus partes.*

#### 2.2. Específicos

- *Reconocer componentes y partes del equipo.*
- *Comprender el funcionamiento del teclado del Telurometro y de cada una de sus funciones.*

### 3. REQUISITOS TEORICOS

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Conceptos de los instrumentos de medición para resistencia de terrenos.
- Características de los terrenos.
- Remitirse a el proyecto de grado (Guía de laboratorio para SPT – Elton Arango y Jaime san juan).

## Experiencia 1

1. **TEMA:** FUNCIONAMIENTO DEL TELUROMETRO AITELONG

### 2. OBJETIVOS

#### 2.1. General

- *Analizar correctamente el Telurometro, sus funciones y*

#### 2.2. Específicos

- *Reconocer componentes y partes del equipo.*
- *Comprender el funcionamiento del teclado del Telurometro y de cada una de sus funciones.*

### 3. REQUISITOS TEORICOS

Antes de llegar al laboratorio siguientes temas:

- Conceptos de los instrumentos de medición para resistencia de terrenos.
- Características de los terrenos.
- Remitirse a el proyecto de grado (Guía de laboratorio para SPT – Elton Arango y Jaime san juan).

### 4. PROCEDIMIENTO

4.1. Levante el Telurometro con sus

### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Levante el Telurometro con sus dos manos y analicelo.
- 4.2. Analice cada uno de sus componentes externos, como su pantalla LCD, o su selector de funciones.
- 4.3. Analice el funcionamiento del teclado y de cada una de sus funciones y llene la siguiente tabla.

Tecla	Funcionamiento
TEST	
CLEAR	
VIEW	
SAVE	
ADJUST	
SAVE p	

Tabla 1. Análisis del funcionamiento del teclado.

- 4.4. Analice las especificaciones del puerto de prueba del instrumento y escriba cada una de sus funciones.

Puerto	Funcionamiento
E	
H	
ES	
S	

Tabla 2. Análisis del funcionamiento del puerto de prueba.

Puerto	Funcionamiento
E	
H	
ES	
S	

Tabla 2. Análisis del funcionamiento del puerto de prueba.

##### 5. DESCRIPCIÓN DE LAS OTRAS FUNCIONES

- 5.1. **Save (Guardar):** Cada resultado se guarda al presionar [SAVE], dos veces, podría mostrar primero "mem" y luego un número serial de la posición de guardar.
- 5.2. **View (Controlar):** presione [VIEW], muestra el valor de Presione [VIEW], otra vez y muestra otro valor guardado, primero muestra el número de posición y luego el símbolo "mem".
- 5.3. **Clear:** Esta tiene 3 funciones:
- 5.3.1. Si ninguna operación se puede realizar después de guardar los resultados, presione [CLEAR], para borrar el resultado, y muestra el número de posición del registro guardado y muestra el símbolo "CLR".
- 5.3.2. Cuando el switch está en la posición de [p] o [AVG p] presione [CLEAR] para borrar los resultados almacenados p, presione [CLEAR] la primera vez, la pantalla muestra los símbolos "CLR", presione [CLEAR] nuevamente, confirme la opción de borrar, podría mostrar NO si no hay valor en la memoria.
- 5.3.3. Si el switch está en otras posiciones excepto la de [VOLT] o [AVG p] y realiza otras funciones después de guardar los resultados por última vez, presione [CLEAR] para borrar todos los resultados en memoria (15). Presione [CLEAR], la pantalla muestra los caracteres CLR, presione [CLEAR] para confirmar, confirme para borrar, de otra manera al presionar otras teclas detener la operación de borrado.

##### 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

##### 5. DESCRIPCIÓN DE LAS OTRAS FUNCIONES

**5.1. Save (Guardar):** Cada resultado se guarda al presionar [SAVE], dos veces, podría mostrar primero "mem" y luego un número serial de la posición de guardar.

**5.2. View (Controlar):** presione [VIEW], muestra el valor del último resultado. Presione [VIEW], otra vez y muestra otro valor guardado, primero muestra el número de posición y luego el símbolo "mem".

**5.3. Clear:** Esta tiene 3 funciones:

**5.3.1.** Si ninguna operación se puede realizar después de guardar los resultados, presione [CLEAR], para borrar el resultado, y presione [CLEAR], y muestra el número de posición del registro guardado y muestra el símbolo "CLR".

**5.3.2.** Cuando el switch está en la posición de [p] o [AVG p] presione [CLEAR] para borrar los resultados almacenados p, presione [CLEAR] la primera vez, la pantalla muestra los símbolos "CLR", presione [CLEAR] nuevamente, confirme la opción de borrar, podría mostrar NO si no hay valor en la memoria.

**5.3.3.** Si el switch está en otras posiciones excepto la de [VOLT] o [AVG p] y realiza otras funciones después de guardar los resultados por última vez, presione [CLEAR] para borrar todos los resultados en memoria (15). Presione [CLEAR], la pantalla muestra los caracteres CLR, presione [CLEAR] para confirmar, confirme para borrar, de otra manera al presionar otras teclas detener la operación de borrado.

▪ **Pregunta 1:**  
Defina el concepto de telurómetro y su aplicación.

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE RESPUESTA A TIERRA

6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

▪ **Pregunta 1:**  
Defina el concepto de telurómetro y su aplicación.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

▪ **Pregunta 2:**  
¿Cuál es la marca más reconocida a nivel mundial referida a telurómetros?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

▪ **Pregunta 3:**  
¿Explique la función del puerto de prueba?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

▪ **Pregunta 4:**  
Compare la información del telurómetro AITELONG SAT-10C con otro Telurometro y escriba las diferencias que nota en cuanto a las funciones del teclado y las funciones de conexión del puerto de entrada.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

▪ **Pregunta 2:**  
¿Cuál es la marca más reconocida a nivel mundial referida a telurómetros?

▪ **Pregunta 3:**  
¿Explique la función del puerto de prueba?

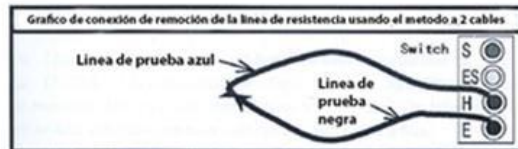
▪ **Pregunta 4:**  
Compare la información del telurómetro AITELONG SAT-10C con otro Telurometro y escriba las diferencias que nota en cuanto a las funciones del teclado y las funciones de conexión del puerto de entrada.

## Experiencia2.

### 1. TEMA: INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DEL TELUROMETRO.

#### 5. PROCEDIMIENTO

5.1. Corte la conexión de la línea de prueba como se muestra en figura2 (esto se hace con una conexión entre la línea azul y la línea de prueba negra).



Ajuste el switch a la posición de prueba (2 cables) si el switch está en esta posición cámbielo de lugar y luego llévelo de nuevo a la posición de prueba. Usted verá unas líneas que se muestran en la pantalla del instrumento.

5.2. Presione SAVE y la pantalla mostrará la letra k.



5.3. Presione TEST y la pantalla primero mostrará la resistencia original y luego desplegará 0.00 lo cual muestra que el instrumento ha sido calibrado. La siguiente medida puede ser hecha. La máxima resistencia calibrada por el instrumento es de 5ohm.

*Nota: siempre quitar la resistencia de línea después de prender el equipo.*

#### 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**  
¿Qué es la resistividad del terreno?

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**  
¿Qué resultado obtuvo al realizar el método de dos cables?

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**  
¿Porque hay que quitar la resistencia de línea después de prender el equipo?

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**  
¿El resultado que muestra el Teluometro Marca Aitelong SAT-10C EarthTester es la resistencia o la resistividad de terreno? Sustente matemáticamente su respuesta.

---

---

---

---



## *Experiencia2.*

### 1. TEMA: INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DEL TELUROMETRO.

#### GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

- **Pregunta 5:**  
Enumere los factores que influyen en la medida del terreno y como en caso de no obtener un resultado aceptable, que hacer.

---

---

---

---

- **Pregunta 6:**  
Compare si es necesario retirar la resistencia del instrumento de medición, deje explícita la referencia de los mismos y añada fotos de estos. Explique.



---

---

---

---

## Experiencia3

1. **TEMA:** REALIZAR EL MÉTODO ON-LINE DE RESISTENCIA DE TIERRA POR EL MÉTODO DE LOS DOS CABLES.

### GUÍA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Inserte la punta azul (verde) y la línea negra en los orificios H y E.
- 4.2. Conecte la otra punta azul (verde) en el asistente de tierra que, en este caso podría ser una tubería de agua (grifo) y conecte la línea negra para testear la tierra como se muestra en el figura 4.



Figura 4

- 4.3. Encienda el equipo.
- 4.4. Ajuste la perilla del instrumento a la posición de testing o prueba (2 cables) como se muestra en el figura 5.



Figura 5

- 4.5. El instrumento despliega tres guiones, esta figura mostrara el promedio de las medidas tomadas anteriormente, ahora si presiona TEST dos veces puede cambiar este parámetro, presionando TEST puede empezar a tomar la medida y leer el resultado.
- 4.6. Para guardar la medida presione SAVE.

### GUÍA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**  
¿En qué consiste el método de los dos cables?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- **Pregunta 2:**  
¿En qué país es más utilizado el método de los dos cables, explique por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- **Pregunta 3:**  
¿Requerimientos principales para aplicar el método de los dos cables, en cuanto a la ubicación y disposición del terreno?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- **Pregunta 4:**  
Buscar más de tres referencias bibliográficas del concepto de los tres cables, anotarlas y referenciarlas.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Experiencia 4

### 1. TEMA: MEDICIÓN DE COMPROBACION DE RESISTENCIA A TIERRA POR EL MÉTODO DE 3 CABLES Y AUTOCALIBRACION DEL TELUOMETRO

#### GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

##### 5. PROCEDIMIENTO AUTO-CALIBRACIÓN

5.1. Conectar al instrumento como se muestra en la figura 7 y colocarlo en condición de corte.

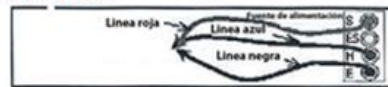


Figura 6

5.2. Ajustar el switch a la posición de prueba [3-alambres], como se muestra en el figura 6 (si estaba en ese lugar, ajustar un poco hacia el switch y luego regresarlo a su posición) esta posición podría mostrar la interfaz.



Figura 7

5.3. Presione [SAVE] y se mostrará la letra k (ver gráfico 1).



Figura 8

5.4. Presione [TEST], primero muestre la resistencia guía, luego se muestra 0.0, la calibración se realizó, y la medición puede realizarse.

**Nota:** Reemplaza la línea de prueba o necesita ser calibrada otra vez después de encender el instrumento. La máxima resistencia medida es 5  $\Omega$ .

#### GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

##### 6. PROCEDIMIENTO MEDICIÓN

6.1. Conectar la línea azul (verde), la roja, y la negra a las interfaces H, S, E al frente del instrumento.

6.2. Conectar la línea azul (verde) al polo actual, conectar la línea roja al polo de voltaje y conectar la línea negra al cuerpo a tierra (Figura 10).

6.3. Ajustar la perilla 3 wires o tres cables.



Figura 9

6.4. El instrumento despliega tres guiones, esta figura mostrará el promedio de las medidas tomadas anteriormente, ahora si presiona TEST dos veces puede cambiar este parámetro, presionando [ESC] puede empezar a tomar la medida y leer el resultado.

6.5. Para guardar la medida presione SAVE.



Figura 10

## Experiencia 4

1. **TEMA:** MEDICIÓN DE COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA POR EL MÉTODO DE 3 CABLES Y AUTOCALIBRACIÓN DEL TELUROMETRO

### GUÍA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 7. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**  
¿Es práctico el Método a tres cables? – Sustente su respuesta.

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**  
¿Cómo y en qué situaciones aplicaría el método de los tres cables?

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**  
¿Requerimientos principales para aplicar el método de los 3 cables, en cuanto a la ubicación y disposición del terreno?

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**  
¿Cuáles y cuántos elementos se utilizan para realizar el método de los tres cables – Realice la prueba y aplicación de este método en el SPT instalado en el laboratorio de fuentes renovables de energía?

---

---

---

---

# Experiencia 5

## 1. MEDICION DE VOLTAJE

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

### 5. PROCEDIMIENTO

5.1. Realizar la conexión como se muestra en el gráfico 12.



Figura 12

5.2. Ajustar el switch a la posición [VUL] como se muestra en el gráfico 13, la pantalla podría mostrar una salida de voltaje (ver gráfico 14) y la medición podría realizarse automáticamente, y no hay necesidad de presionar [TEST].



Figura 13

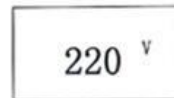


Figura 14

**Advertencia:** Valor máximo de entrada de voltaje es 440 V, el valor medido puede no ser guardado.

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

### 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

#### ▪ Pregunta 1:

Defina la ley de ohm, dando una analogía de la función del voltaje en un circuito.

---

---

---

---

---

#### ▪ Pregunta 2:

¿En qué consiste la ley de watt? – dibuje el triángulo de potencias y de una breve explicación utilizando el triángulo rectángulo.

---

---

---

---

---

#### ▪ Pregunta 3:

Realizar una prueba de medición de voltaje con el telurómetro y otra con el voltímetro, de explicación de su experiencia.

---

---

---

---

---

#### ▪ Pregunta 4:

¿Cómo afecta el voltaje a los aparatos de medida? – sustente su respuesta

---

---

---

## Experiencia 6

### 1. TEMA: MEDICION DE RESISTIVIDAD EN TIERRA POR EL METODO DE 4 CABLES (METODO WENNER).

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA



Figura 15

- 4.4 Encender el instrumento y ajustar el switch a la resistividad de tierra mostrado en el gráfico 16.



Figura 16



Figura 17

- 4.5 Presionar [ALUUS], tome 1 m como la unidad e ingrese la distancia, este rango es de 1 a 10 m, en principio, es preferencial que en condiciones permisivas este cerca de 10 m.
- 4.6 Después de colocar la distancia, presione [TEST], la pantalla LCD podría mostrar la resistividad de tierra  $\rho$  calculado por la fórmula  $\rho = 2 \pi a R$  (ver gráfico 19).

*Nota: al medir la resistividad, si desea obtener el promedio de los resultados en diferentes lugares, la operación podría realizarse siguiendo los siguientes pasos:*

- 4.7 El switch podría ajustarse a la posición de [AVG], y mostrar los valores de las mediciones y las horas de las mismas, si desea cancelar la medición guardada, presione [CLEAR] dos veces.
- 4.8 El switch podría ajustarse a la posición de [p], y realizar la medición de la resistividad de tierra.

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

### 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

#### • Pregunta 1:

Defina en que consiste el método Wenner.

---



---



---



---

#### • Pregunta 2:

Realice el procedimiento mencionado anteriormente (Método Wenner) y de una explicación de su experiencia.

---



---



---



---

#### • Pregunta 3:

Al realizar la prueba del método Wenner realizar los dos procesos de cálculo de la resistividad, 1) Cálculo de la resistividad automático utilizando el telurómetro 2) Cálculo manual utilizando la fórmula de resistividad.

---



---



---



---



## Experiencia 7

### 1. TEMA: COMPROBACION DEL SPT POR EL METODO DE LOS 4 CABLES.

#### GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 4. PROCEDIMIENTO

4.1. Realizar la conexión como se muestra en el gráfico 10.



Figura 10

4.2. Ajustar el switch a la posición de prueba [método de 4 cables] como se muestra en la figura 10, para mostrar que el instrumento podría evaluar una segunda medición y calcular el valor promedio, si el resultado de la prueba es inestable, presione [TEST] dos veces y cambie el número de veces a 5 mediciones, el instrumento podría realizar 5 mediciones automáticamente y calcular el promedio.

4.3. Presione [TEST] después de que el valor mostrado es estable, si es necesario guarde el resultado.

#### GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

##### ▪ Pregunta 1:

¿Por qué es necesario realizar la comprobación de un SPT después de instalarlo?

---

---

---

---

##### ▪ Pregunta 2:

Realice la experiencia y redacte un informe respecto a los resultados.

---

---

---

---

##### ▪ Pregunta 3:

Además del método de los 4 cables, que otro método se utiliza para realizar la comprobación de un SPT, explique cuál es el más utilizado.

---

---

---

---

##### ▪ Pregunta 4:

Consecuencias de no verificar el SPT y que se debe hacer si se comprueba que la resistividad del terreno no es la adecuada.

---

---

---

## Experiencia 8

### 1. TEMA: METODO DE LA REGLA DEL 62%

#### GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

##### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Consta de dos cables, uno será colocado a la distancia más lejana posible, este cable es correspondiente a la corriente inyectada al terreno que suministra el equipo.
- 4.2. El segundo cable correspondiente a la tensión inyectada al terreno se conecta a una distancia correspondiente al 62% de la distancia del otro cable.
- 4.3. La resistencia de puesta a tierra en ohmios, calculada como  $V/I$ .
- 4.4. Verificar que la resistencia medida, sea congruente con la resistencia calculada al momento de realizar el diseño inicial de instalación del SPT encontrado.

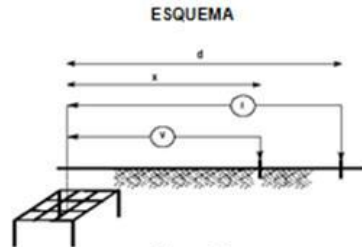


Figura 20

**NOTA:** Tener en cuenta que el método del 62% se realizará con base en un diseño de SPT ya instalado. Comprender que la distancia a la cual se va a instalar el electrodo de corriente, está determinada por la distancia del largo del cable que trae el instrumento de medición. Cabe recordar que en el telurómetro Aitelong SAT-10C los puntos de  $I = S$  y  $E$ , así mismo los de  $V = ES$  y  $H$ .

#### GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

##### 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

###### • Pregunta 1:

Defina el método del 62% o caída de potencial

---

---

---

---

###### • Pregunta 2:

Enumerar características en cuanto a la factibilidad del método de la caída de potencial o del 62%

---

---

---

---

###### • Pregunta 3:

¿Es este uno de los métodos más utilizados a nivel mundial? – Compruebe su respuesta.

---

---

---

---

###### • Pregunta 4:

Compruebe la resistividad del terreno por medio del método del 62% y redacte un informe respecto a los resultados.

---

---

---



# Experiencia 11

## 5. TEMA: CALCULO RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

### 10. PROCEDIMIENTO

- 10.1. Calcular la longitud efectiva del sistema incluyendo la malla y los electrodos.
- 10.2. Conocer el valor exacto del área de la malla.
- 10.3. Establecer la profundidad inicial de enterramiento de la malla de puesta a tierra.
- 10.4. Tener el valor exacto de la resistividad del terreno donde está la malla.

### ESQUEMA

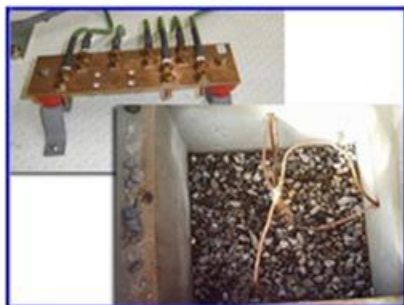


Figura 20

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

### 11. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

#### • Pregunta 1:

Defina y explique para que se necesita la longitud efectiva del sistema y que parámetros y pasos se requieren para calcularla.

---

---

---

---

#### • Pregunta 2:

Explique que influencia en la resistencia tiene la profundidad de enterramiento de la malla y como afecta esta matemáticamente.

---

---

---

---

#### • Pregunta 3:

Realice un ejemplo en el cual tenga que calcular la resistencia de puesta a tierra y explique qué se necesita y como conseguir la información para su aplicación.

---

---

---

---

## Experiencia 12

### 7. TEMA: CALCULO MAXIMO POTENCIAL DE FALLA (GPR).

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 13. PROCEDIMIENTO

- 13.1. Identificar la corriente de falla inicial (Operador de red o simulación)
- 13.2. Identificar las curvas de proximidad de división de corriente e interpretar su contenido.
- 13.3. Realizar el cálculo final de la corriente máxima de falla que se podría presentar dependiendo de las condiciones de la subestaciones (Líneas de transmisión y distribución)

ESQUEMA

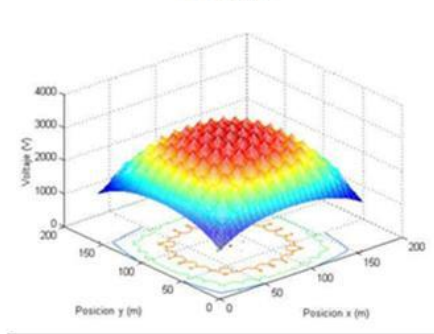


Figura 20

54

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 14. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

##### • Pregunta 1:

Defina que es una corriente máxima de falla y como se calcula.

---

---

---

---

##### • Pregunta 2:

Explique con sus palabras como se utilizan las graficas de factor de división de falla.

---

---

---

---

##### • Pregunta 3:

Identifique la ecuación para el cálculo de la máxima corriente de falla.

---

---

---

---

55

## *Experiencia 12*

### 7. TEMA: CALCULO MAXIMO POTENCIAL DE FALLA (GPR).

GUIA DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

#### 14. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

▪ **Pregunta 1:**

Defina que es una corriente máxima de falla y como se calcula.

---

---

---

---

▪ **Pregunta 2:**

Explique con sus palabras como se utilizan las gráficas de factor de división de falla.

---

---

---

---

▪ **Pregunta 3:**

Identifique la ecuación para el cálculo de la máxima corriente de falla.

---

---

---

---

## EJERCICIO APLICACION

Se esta contrayendo una central de generacion a carbon, la central consta de 4 unidades generadoras cada una de 200 MVA cada una a 13,8 kV y se requiere la construcción de una subestación para transmitir la potencia generada a 220kV bajo las siguientes especificaciones:

- ✓ Es una subestación de transformación de 13,8kV a 220kV.
- ✓ Hay 4 líneas de entrada de 13,8 kV y 8 líneas de salida de 220kV para los circuitos de distribución que irán interconectado el sistema nacional.
- ✓ La corriente de cortocircuito trifásica del lado de baja (13,8kV) es de 8.4kA de acuerdo a simulación realizada en la planificación de la central en construcción.
- ✓ Se realizó un estudio resistivo del terreno con el método wenner utilizando el AITELONG SAT-10C dando los siguientes valores al realizar varias medidas: 500.5, 498.8, 430, 509.3, 490.5, 530.5.
- ✓ El área disponible para la construcción es de: 100 metros x 80 metros.
- ✓ El tiempo de falla solicitado para la protección de los equipos de la central en comun con el sistema interconectado es de 0,5 segundos.
- ✓ La resistencia de puesta a tierra de las líneas de transmisión y distribución conectadas es de 15 ohm y 25 ohm respectivamente.

Diseñe un sistema de puesta a tierra de acuerdo a lo anterior:

1. Establezca los parametros basicos como dimension de la malla y componentes como gavilla, tipo de uniones, temperatura ambiente, etc.
2. Determine cual es el calibre adecuado para soportar una falla en esta malla.
3. Determine los criterios de soportabilidad para personas y equipos.
4. Muestre una caracterización en base a lo realizado hasta el momento de las

características de la malla como numero de varillas a utilizar, longitud de la varilla, espaciamento entre estas, longitud efectiva, etc. (Mostrar inventario de materiales y diseño en autocad.

5. Como ya setiene el valor de resistividad del terreno y otros datos, calcular la resistencia del terreno teniendo en cuenta la malla. Diga que parametro del item 4 hay que tener en cuenta para este calculo. Explique su respuesta.
6. Calcule la corriente máxima de cortocircuito que puede existir en esta malla teniendo en cuenta los datos simulados de falla de la central. Explique que parames se necesitan para este calculo.
7. Calcule el GPR y determine si lo diseñado hasta el momento cumple para proteger a personal de trabajo a las tensiones de paso y contactos.
8. En el caso que el GPR no cumpla explique cual es el paso a seguir en el diseño de SPT y que indicadores son necesarios para la valides de los resultados obtenidos.
9. Entregue un informe explicando todo el proceso de diseño.

**Tabla 8** Cuadro de competencias de la guía de laboratorio

	Logro 1	Logro 2	Logro 3	Logro 4	Logro 5	Logro 6	Logro 7	Logro 8	Logro 9	Logro 10	Logro 11	Logro 12	Logro 13
<b>EXPERIENCIA 1</b>	ok												
<b>EXPERIENCIA 2</b>		ok											
<b>EXPERIENCIA 3</b>			ok										
<b>EXPERIENCIA 4</b>				ok									
<b>EXPERIENCIA 5</b>					ok								
<b>EXPERIENCIA 6</b>						ok							
<b>EXPERIENCIA 7</b>							ok						
<b>EXPERIENCIA 8</b>								ok					
<b>EXPERIENCIA 9</b>									ok				
<b>EXPERIENCIA 10</b>										ok			
<b>EXPERIENCIA 11</b>											ok		
<b>EXPERIENCIA 12</b>												ok	
<b>EXPERIENCIA 13</b>													ok

**Tabla 9** Logros de la guía de laboratorio

	LOGROS
1	Analizar correctamente el teluometro sus funciones y sus partes
2	Verificar que el instrumento este calibrado correctamente antes de realizar la prueba.
3	Obtener el conocimiento para realizar mediciones de resistividad en lugares que tengan tuberías metálicas.
4	Realizar la prueba de resistividad del terreno utilizando el método de los tres cables.
5	Aprender a medir la tensión, utilizando el teluometro.
6	Aprender a medir la resistencia del terreno utilizando el método Wenner.
7	Comprobar la resistencia del SPT utilizando el método de los cuatro cables, dado en el manual del teluometro.
8	Comprobar la resistencia del SPT utilizando el método del 62%.
9	Aprender a calcular y seleccionar el calibre necesario para una malla.
10	Identificar y verificar la existencia de tensiones de paso y contacto.
11	Conocer la función de la resistencia del terreno para un SPT
12	Entender el concepto de máximo potencial de falla y su relación con las tensiones tolerables.
13	Diseñar un sistema de puesta a tierra para subestaciones en base a la IEEE 80

## CONCLUSIONES

En base a la investigación realizada se concluye que la presente guía de laboratorio responde a las competencias que tiene el programa de ingeniería eléctrica de la Universidad de la costa (CUC) las cuales son:

- Fortalece habilidades para las mediciones relacionadas con sistemas de puesta a tierra siendo favorecidas con este material, asignaturas como mediciones e instrumentación ya que la guía contiene procedimientos que obligan al estudiante a utilizar el teluometro AITELONG SAT-10C y realizar las diversas experiencias.
- Instruye pautas básicas para la realización de cálculos para el diseño de sistemas de puesta a tierra como lo propone la normativa vigente IEEE 80 Std favoreciendo con este material, asignaturas como subestaciones eléctricas, ya que la guía contiene procedimiento básicos para diseño de SPT para subestaciones.
- La utilización de esta materia por parte de la institución en el programa de ingeniería eléctrica le servirá con recurso académico que aportara en las competencias del programa haciendo que los futuros ingenieros en su vida laboral tengan más herramientas y competencias.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que al momento de realizar la experiencia número 13 que es el ejercicio de diseño general basado en la IEEE 80, se realicen los cálculos de manera escrita, guiándose del documento del proyecto de grado realizado por Elton Arango y Jaime Sanjuán “Diseño metodológico y guía de laboratorio para el análisis y estudio de los principios básicos para la implementación de sistemas de puesta a tierra”.

Para corroborar la respuesta de los ejercicios realizados se debe comparar las respuestas con los datos que arroje alguno del software (creado en java o en una tabla de Excel), de los pasos o algoritmos que establece la IEEE 80. En el caso que no se tenga acceso a estas aplicaciones se recomienda que los estudiantes se encarguen de hacerlas.

Se recomienda a la institución obtener software de aplicación para la simulación de potenciales de corriente de falla (GPR) y software de diseño de sistemas de puesta a tierra.

Se recomienda a la institución en base a la guía de laboratorio habilitar una electiva en el tema de sistemas de puesta a tierra o utilizar este material en materias claves como mediciones e instrumentación, instalaciones y sistemas de puesta a tierra.

Se recomienda buscar otro tipo de teluometro, con otra marca disponible para realizar pruebas y comprobar las respuestas obtenidas en las experiencias y ofrecer más espacios a los estudiantes para que utilicen estos recursos.



## **BIBLIOGRAFIA**

[1] AGULLEIRO Ignacio (Ingeniero). MARTINEZ Lozano Miguel (Prof y MSc). “TECNICAS MODERNAS PARA LA MEDICION DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA”.

[2] CASAS Ospina Fabio. “TIERRAS – Soporte de la seguridad”. Cuarta edición. Agosto 2008.

[3] GIL Arrieta Cesar; LANDAZABAL Suarez Carlos. “FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA”. Educosta editorial universitaria de la costa. 2009.

[4] GUTIERREZ B Victor Hugo. “Revista Mundo Electrónico – Diseño puesta a tierra a la luz del RETIE”. Editorial Orvisa comunicaciones. Vol.23.No 76 (Sept 2009).

[5] GUZMAN Lascano Cindy. MIRANDA Cardona Diana. ROJAS Feris Emerson. “DIAGNOSTICO DE CALIDAD DE LA ENERGÍA Y ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LUMINARIAS Y SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE DE LOS BLOQUES CDR, BIBLIOTECA Y AULAS DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SOLEDAD ATLANTICO, ITSA” .Trabajo de grado Ingeniero eléctrico corporación universitaria de la costa. 2011.

[6] Guerrero M. José H. C.I. 15.133.718; Montiel O. Alejandro C.I. 15.746.28; Rodríguez H. Rogers D. C.I. 15.819.775; Viña V. Cruz M. C.I. 16.311.999. “SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES.” Universitas carabobensis. Valencia, junio del 2005.

- [7]. Handbook of chemistry and Physics, 58 ed, CRC Press, Inc, Cleveland, Ohio.
- [8]. IEEE. 81. (1983). Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [9]. IEEE. Std 80. IEEE Guide for Safety in AC substation Grounding. Approved 30 January 2000.
- [10]. República de Colombia. NTC 4552 - 1. Protección con descargas atmosféricas atmosféricas (Rayos). Parte 1: Principios generales Pag 19. Icontec
- [11] RAMÍREZ C José Samuel. CANO P Eduardo Antonio. "SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF". Facultad de ingeniería y arquitectura. Universidad nacional sede Manizales. 2010.
- [12] REVISTA "Método caída de potencial". International Trading S.A. de C.V. Empresa de servicios para el diseño e instalación de SPT en México
- [13] NTC 2050. Sección 250. "Puesta A Tierra".
- [14] RETIE. Capitulo 15.2. "Requisitos Generales De Las Puestas A Tierra". Resolución No. 18 – 1294 de Agosto 6 de 2008.
- [15]. República de Colombia. NTC 2050. Código eléctrico de Colombia.
- [16]. Proyecto de norma técnica Colombiana NTC 389/03.

[17] PEREZ Otero Gina. BALBIS Morejón Milen. PUPO Contreras Neder..  
“IDENTIFICACION DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES DEL  
INGENIERO ELÉCTRICO DE LA CORPORACION UNIVERSITARIA DE LA  
COSTA CUC” .Trabajo de grado Especialista en Estudios Pedagógicos. 2011

[18]. Sistemas de puesta a tierra. I.E César A. Agudelo Osorio. CIDET.  
Capacitación a electricistas de la planta de generación Termoguajira. Agosto 2012.

[19]. Tarbuck, E. J. & Lutgens, F. K. 2005. *Ciencias de la Tierra*, 8ª edición.  
Pearson Education S. A., Madrid.

[20] VEGA Ortega Miguel. “Problemas de ingeniería de puesta a tierra”. Tercera  
edición. Editorial Limusa. 2009.

# ANEXOS

**Anexo A.** Telurometro marca AITELONG SAT-10C.



**Anexo B.** Actividad de prueba del Telurometro marca AITELONG SAT-10C con los estudiantes de la asignatura de Subestaciones Eléctricas dictada por el Ingeniero Jorge Ivan Silva.



**Anexo C.** Guía de laboratorio.

**GUIAS DE LABORATORIO PARA SISTEMAS DE PUESTA  
A TIERRA – MODULOS MEDICION E INSTRUMENTACION,  
INSTALACIONES ELECTRICAS Y SUBESTACIONES  
ELECTRICAS.**

**ELTON JHON ARANGO NOGUERA  
JAIME SAN JUAN VANEGAS**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
BARRANQUILLA 2012**

**PROGRAMA: SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.**

<b>Temas</b>	<b>Descripción</b>
Introducción	Conformación de grupos, normas del laboratorio, evaluación, proyecto
Funcionamiento del Teluometro	Entender el funcionamiento del Teluometro.
Instructivo de operación del Teluometro	Utilizar el Teluometro y retirar la línea de resistencia de la línea de prueba.
Realizar el método online de resistencia de tierra por el método de los dos cables	Realizar la medición con el conector de alimentación usando el método de los dos cables.
Medición de resistencia de tierra con el conector de alimentación utilizando el método de los dos cables	Realizar la medición con el conector de alimentación usando el método de los dos cables.
Medición de resistencia a tierra por el método de 3 cables	Aprender a medir la resistencia a tierra usando el método de los 3 cables.
Medición de la resistividad a tierra por el método Wenner o cuatro cables	Aprender a medir la resistividad por el método wenner
Medición de resistencia a tierra por el método de 4 cables	Aprender a medir la resistencia a tierra usando el método de los 4 cables.
Medición de voltaje	Aprender a realizar la correcta medición del voltaje usando Teluometro.
Medición de resistividad en tierra por el método de 4 alambres.	Aprender a utilizar las funciones restantes del Teluometro.
Guardar y controlar	Aprender a utilizar las funciones restantes del Teluometro.

## INTRODUCCIÓN

Esta guía de laboratorio de Sistemas de Puesta a Tierra contiene 13 experiencias elaboradas con base en un enfoque teórico-práctico apoyado en el instrumento de medición Teluometro Marca Aitelong SAT-10C EarthTester. Este permite realizar una serie de mediciones las cuales se explican en su totalidad para revisar la resistividad de un terreno donde se desee instalar un sistema de puesta a tierra.

El trabajo práctico constituye una actividad de importancia para el estudiante de Ingeniería Eléctrica. Medir la resistividad de los suelos constituye un entrenamiento fundamental para comprender la realización de estudios sobre terrenos antes de su construcción y calcular las distintas formas en las que los sistemas de puesta a tierra pueden ser aplicados. El Teluometro es un instrumento fundamental para la medición de esta propiedad, y de su correcta utilización, el cual depende la precisión de las medidas hechas.

Partiendo de estas mediciones la presente guía servirá de entrenamiento para los cálculos y diseños necesarios para el acabado final de un sistema de puesta a tierra desde edificaciones de baja tensión hasta subestaciones de alta y extra alta tensión.

### Características de las guías de laboratorio

Los aspectos presentados en esta guía sedimentan las bases para el desarrollo de la práctica e implementación de los SPT. Al desarrollar esta guía el estudiante tendrá las capacidades para llevar a cabo un diseño de puestas a tierra. Por tanto, cada una de las guías están conformadas por dos partes: procedimiento e informe de laboratorio.

## PROCEDIMIENTO

Comprende los siguientes ítems:

1. Tema
2. Objetivos
  - 2.1. *General*
  - 2.2. *Específico*
3. Actividades de fundamentación teórica (Información previa a la práctica)
4. Procedimiento
5. Análisis de los datos

## **INFORME**

El informe final es el resultado de los datos obtenidos, análisis y conclusiones de la experiencia realizada. El contenido del informe estará conformado por:

1. Datos y observaciones
2. Tablas-gráficos
3. Cálculos y resultados
4. Conclusión y discusión
5. Respuestas a las preguntas

## **EVALUACION DE LA EXPERIENCIA**

Esta será evaluada bajo los criterios del docente encargado el cual notificara a los alumnos previamente el porcentaje de evaluación. Se sugiere que los siguientes aspectos sean tenidos en cuenta:

1. Presentación del informe.
2. Claridad de conceptos.
3. Evaluaciones adicionales o previas a los laboratorios.
4. Análisis de los cuadros y gráficos.
5. Características del lugar donde se realizara la experiencia.
6. Conclusiones.



## COMPETENCIAS

Realizar las mediciones de resistividad del suelo e interpretar los datos de acuerdo a las medidas hechas teniendo en cuenta la posible presencia de resistividades no uniformes que agregan complejidad al problema inverso de determinar los valores de resistividad del suelo a partir de las medidas obtenidas.

	LOGROS
1	Analizar correctamente el teluometro sus funciones y sus partes
2	Verificar que el instrumento este calibrado correctamente antes de realizar la prueba.
3	Obtener el conocimiento para realizar mediciones de resistividad en lugares que tengan tuberias metalicas.
4	Realizar la prueba de resistividad del terreno utilizando el metodo de los tres cables.
5	Aprender a medir la tension, utilizando el teluometro.
6	Aprender a medir la resistencia del terreno utilizando el metodo Wenner.
7	Comprobar la resistencia del SPT utilizando el metodo de los cuatro cables, dado en el manual del teluometro.
8	Comprobar la resistencia del SPT utilizando el metodo del 62%.
9	Aprender a calcular y seleccionar el calibre necesario para una malla.
10	Identificar y verificar la existencia de tensiones de paso y contacto.
11	Conocer la funcion de la resistencia del terreno para un SPT
12	Entender el concepto de maximo potencial de falla y su relacion con las tensiones tolerables.
13	Diseñar un sistema de puesta a tierra para subestaciones en base a la IEEE 80

# ***Experiencia 1***

1. **TEMA:** FUNCIONAMIENTO DEL TELUROMETRO AITELONG SAT-10C.

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. General***

- *Analizar correctamente el Telurometro, sus funciones y sus partes.*

### ***2.2. Específicos***

- *Reconocer componentes y partes del equipo.*
- *Comprender el funcionamiento del teclado del Telurometro y de cada una de sus funciones.*

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Conceptos de los instrumentos de medición para resistencia de terrenos.
- Características de los terrenos.
- Remitirse a el proyecto de grado (Guía de laboratorio para SPT – Elton Arango y Jaime san juan).

## **4. PROCEDIMIENTO**

4.1. Levante el Telurometro con sus dos manos y analícelo.

4.2. Analice cada uno de sus componentes externos, como su pantalla LCD, o su selector de funciones.

4.3. Analice el funcionamiento del teclado y de cada una de sus funciones y llene la siguiente tabla.

Tecla	Funcionamiento
-------	----------------

TEST	
CLEAR	
VIEW	
SAVE	
ADJUST	
SAVE $\rho$	

Tabla 1. Análisis del funcionamiento del teclado.

4.4. Analice las especificaciones del puerto de prueba del instrumento y escriba cada una de sus funciones.

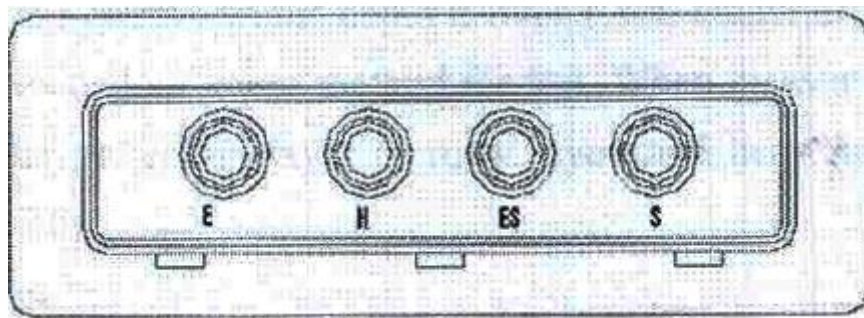


Figura 1: Puerto de prueba.

Puerto	Funcionamiento
E	
H	
ES	
S	

Tabla 2. Análisis del funcionamiento del puerto de prueba.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LAS OTRAS FUNCIONES

5.1. **Save (Guardar):** Cada resultado se guarda al presionar [SAVE], dos veces, podría mostrar primero "mem" y luego un número serial de la posición de guardar.

5.2. **View (Controlar):** presione [VIEW], muestra el valor del último resultado. Presione [VIEW], otra vez y muestra otro valor guardado, primero muestra el número de posición y luego el símbolo "mem".

5.3. **Clear:** Esta tiene 3 funciones:

5.3.1. Si ninguna operación se puede realizar después de guardar los resultados, presione [CLEAR], para borrar el resultado, y presione [CLEAR], y muestra el número de posición del registro guardado y muestra el símbolo "CLR".

5.3.2. Cuando el switch está en la posición de [p] o [AVG p] presione [CLEAR] para borrar los resultados almacenados p, presione [CLEAR] la primera vez, la pantalla muestra los símbolos "CLR", presione [CLEAR] nuevamente, confirme la opción de borrar, podría mostrar NO si no hay valor en la memoria.

5.3.3. Si el switch está en otras posiciones excepto la de [VOLT] o [AVG p] y realiza otras funciones después de guardar los resultados por última vez, presione [CLEAR] para borrar todos los resultados en memoria (15). Presione [CLEAR], la pantalla muestra los caracteres CLR, presione [CLEAR] para confirmar, confirmar para borrar, de otra manera al presionar otras teclas detener la operación de borrado.

## 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

Defina el concepto de telurómetro y su aplicación.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

¿Cuál es la marca más reconocida a nivel mundial referente a telurómetros?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

¿Explique la función del puerto de prueba?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**

Compare la información del telurómetro AITELONG SAT-10C con otro Teluometro y escriba las diferencias que nota en cuanto a las funciones del teclado y las funciones de conexión del puerto de entrada.

---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ***Experiencia 2***

### **1. TEMA: INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DEL TELUROMETRO.**

### **2. OBJETIVOS**

#### ***2.1. General***

- *Utilizar el Teluometro y retirar la línea de resistencia de la línea de prueba*

#### ***2.2. Específicos***

- *Entender la razón por la cual hay que retirar la resistencia de la línea de prueba.*
- *Realizar la conexión correcta para retirar la resistencia de la línea de prueba.*
- *Conocer las líneas adecuadas que se utilizan para retirar la resistencia de la línea de prueba.*

### **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Resistencia del terreno
- Resistividad del terreno
- Remitirse a el proyecto de grado (Guía de laboratorio para SPT – Elton Arango y Jaime san juan).

### **4. EQUIPOS Y MATERIALES**

- Teluometro.

***Nota: Se debe quitar la resistencia al instrumento primero antes de realizar la prueba con dos o tres cables.***

## 5. PROCEDIMIENTO

5.1. Corte la conexión de la línea de prueba como se muestra en figura 2 (esto se hace con una conexión entre la línea azul y la línea de prueba negra).

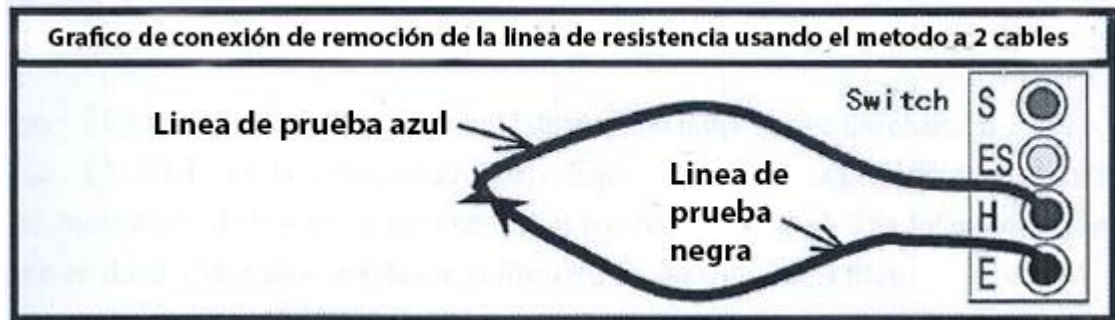


Figura2

Ajuste el switch a la posición de prueba (2 cables) si el switch está en esta posición cámbielo de lugar y luego llévelo de nuevo a la posición de prueba. Usted verá unas líneas que se muestran en la pantalla del instrumento.

5.2. Presione SAVE y la pantalla mostrará la letra k.

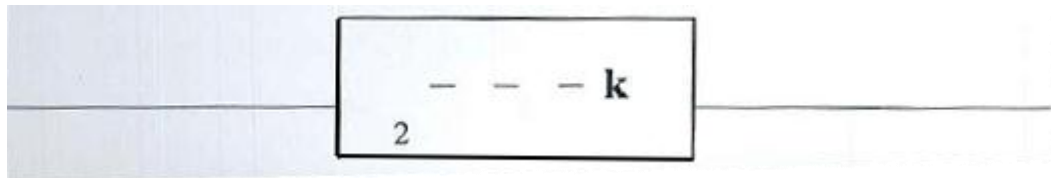


Figura 3

5.3. Presione TEST y la pantalla primero mostrara la resistencia original y luego desplegara 0.00 lo cual muestra que el instrumento ha sido calibrado. La siguiente medida puede ser hecha. La máxima resistencia calibrada por el instrumento es de 5ohm.

***Nota: siempre quitar la resistencia de línea después de prender el equipo.***



## 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

¿Qué es la resistividad del terreno?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

¿Qué resultado obtuvo al realizar el método de dos cables?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

¿Porque hay que quitar la resistencia de línea después de prender el equipo?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**

¿El resultado que muestra el Teluometro Marca Aitelong SAT-10C EarthTester es la resistencia o la resistividad de terreno? Sustente matemáticamente su respuesta.

---

---

---

---

---

▪ **Pregunta 5:**

Enumere los factores que influyen en la medida del terreno y como en caso de no obtener un resultado aceptable, que hacer.

---

---

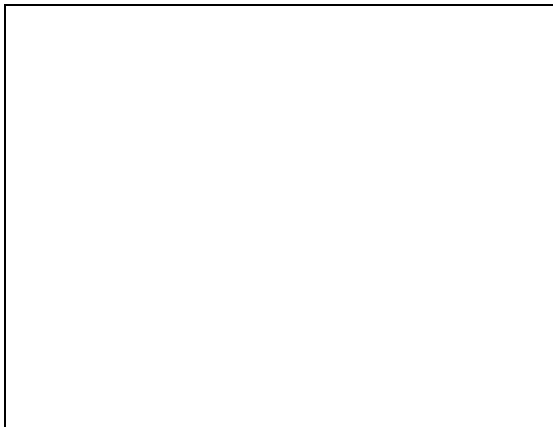
---

---

---

▪ **Pregunta 6:**

Compare si es necesario retirar la resistencia del instrumento de medición, deje explicita la referencia de los mismos y añada fotos de estos. Explique.



---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ***Experiencia 3***

1. **TEMA:** REALIZAR EL MÉTODO ON-LINE DE RESISTENCIA DE TIERRA POR EL MÉTODO DE LOS DOS CABLES.

### **2. OBJETIVOS**

#### **2.1. General**

- *Utilizar el Teluometro para medir la resistencia de tierra usando el método de los dos cables utilizando tomando de ayuda un auxiliar a tierra – Red metálica de suministro de agua.*

#### **2.2. Específicos**

- *Realizar la correcta conexión del método a dos cables.*
- *Reconocer los cables correctos que se utilizaran para realizar la experiencia.*

### **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Método de medición de la resistencia a tierra usando dos cables
- Remitirse a el proyecto de grado (Guía de laboratorio para SPT – Elton Arango y Jaime san juan). Paginas .....

### **4. PROCEDIMIENTO**

- 4.1. Inserte la punta azul (verde) y la línea negra en los orificios H y E.
- 4.2. Conecte la otra punta azul (verde) en el asistente de tierra que, en este caso podría ser una tubería de agua (grifo) y conecte la línea negra para testear la tierra como se muestra en el figura 4.

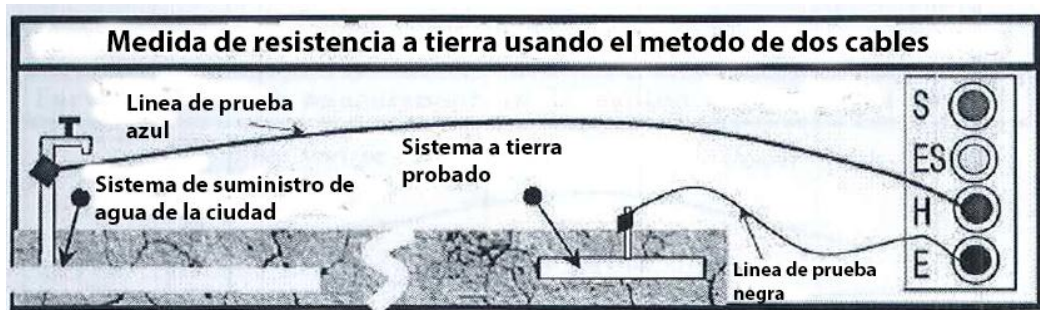


Figura 4

4.3. Encienda el equipo.

4.4. Ajuste la perilla del instrumento a la posición de testing o prueba (2cables) como se muestra en el figura 5.

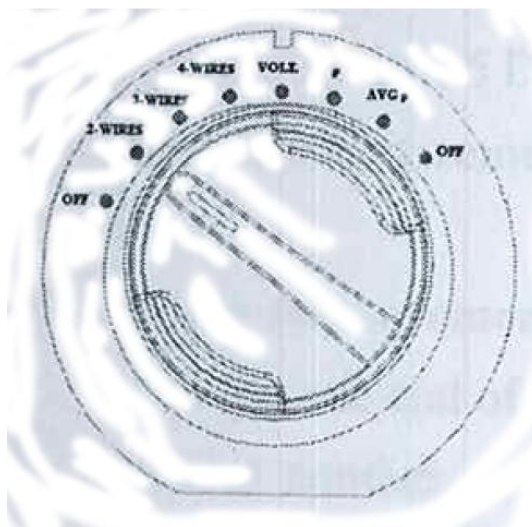


Figura 5

4.5. El instrumento despliega tres guiones, esta figura mostrara el promedio de las medidas tomadas anteriormente, ahora si presiona TEST dos veces puede cambiar este parámetro, presionando TEST puede empezar a tomar la medida y leer el resultado.

4.6. Para guardar la medida presione SAVE.

## 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

¿En qué consiste el método de los dos cables?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

¿En qué país es más utilizado el método de los dos cables, explique por qué?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

¿Requerimientos principales para aplicar el método de los dos cables, en cuanto a la ubicación y disposición del terreno?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**

Buscar más de tres referencias bibliográficas del concepto de los tres cables, anotarlas y referenciarlas.

---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ***Experiencia 4***

1. **TEMA:**MEDICIÓN DE COMPROBACION DE RESISTENCIA A TIERRA POR EL MÉTODO DE 3 CABLES Y AUTOCALIBRACION DEL TELUROMETRO

### **2. OBJETIVOS**

#### ***2.1. General***

- *Aprender a medir la resistencia de tierra usando el método de los 3 cables en un sistema de puesta a tierra ya diseñado.*

#### ***2.2. Específicos***

- *Comprender el funcionamiento de auto calibración del Teluometro.*
- *Realizar la conexión correcta de los tres cables.*

### **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Fundamentos teóricos para la aplicación del método de los tres cables.
- Remitirse a el proyecto de grado (Guía de laboratorio para SPT – Elton Arango y Jaime san juan). Paginas .....

### **4. EQUIPOS Y MATERIALES**

- Teluometro

### **5. PROCEDIMIENTO AUTO-CALIBRACIÓN**

- 5.1. Conectar al instrumento como se muestra en la figura 7 y colocarlo en condición de corte.



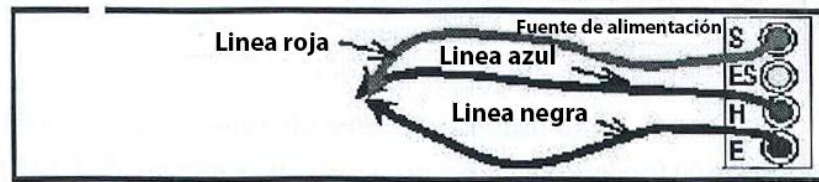


Figura 6

5.2. Ajustar el switch a la posición de prueba [3-alambres], como se muestra en el figura 6 (si estaba en ese lugar, ajustar un poco hacia el switch y luego regresarlo a su posición) esta posición podría mostrar la interface.

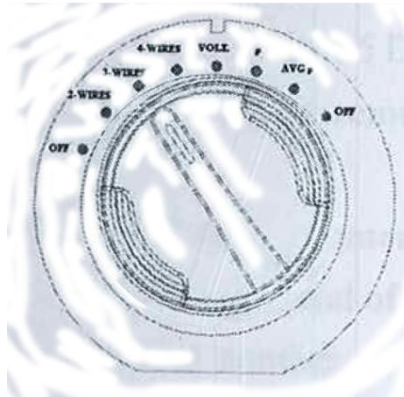


Figura 7

5.3. Presione [SAVE] y se mostrara la letra k (ver gráfico 7).

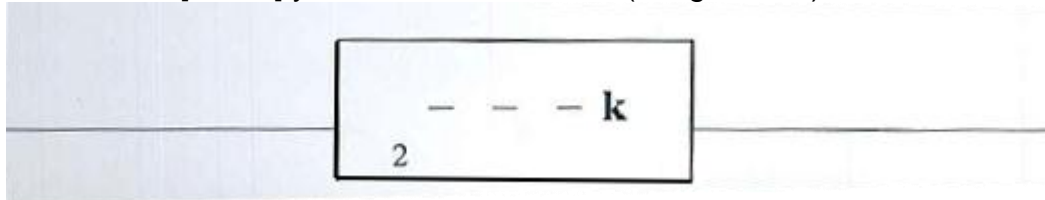


Figura 8

5.4. Presione [TEST], primero muestre la resistencia guía, luego se muestra 0.0, la calibración se realizó, y la medición puede realizarse.

**Nota: Reemplace la línea de prueba o necesita ser calibrada otra vez después de encender el instrumento. La máxima resistencia medida es 5  $\Omega$ .**

## 6. PROCEDIMIENTO MEDICIÓN

- 6.1. Conectar la línea azul (verde), la roja, y la negra a las interfaces H, S, E al frente del instrumento.
- 6.2. Conectar la línea negra al polo actual, conectar la línea roja va a tierra (Tensión) y se conecta la línea azul al terreno (Corriente). Ver figura 10.
- 6.3. Ajustar la perilla 3 wires o tres cables.

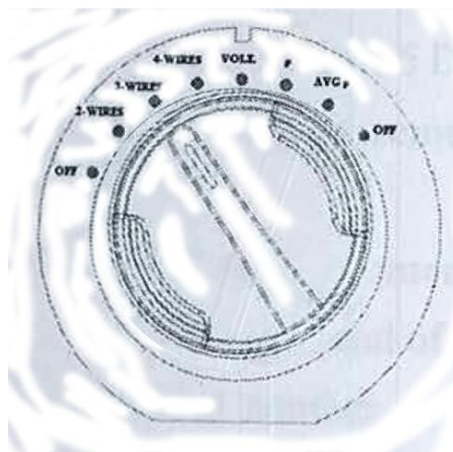


Figura 9

- 6.4. El instrumento despliega tres guiones, esta figura mostrara el promedio de las medidas tomadas anteriormente, ahora si presiona TEST dos veces puede cambiar este parámetro, presionando TEST puede empezar a tomar la medida y leer el resultado.
- 6.5. Para guardar la medida presione SAVE.



Figura 10

## 7. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

¿Es práctico el Método a tres cables? – Sustente su respuesta.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

¿Cómo y en que situaciones aplicaría el método de los tres cables?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

¿Requerimientos principales para aplicar el método de los 3 cables, en cuanto a la ubicación y disposición del terreno?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**

¿Cuales y cuantos elementos se utilizan para realizar el método de los tres cables – Realice la prueba y aplicación de este método en el SPT instalado en el laboratorio de fuentes renovables de energía?

---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# ***Experiencia 5***

## **1. MEDICIÓN DE VOLTAJE**

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. General***

- *Aprender a realizar la correcta medición de tensión usando Teluometro.*

### ***2.2. Específico***

- *Comprender la relación e importancia del voltaje en los SPT.*
- *Determinar qué tipo de SPT debe ir según el voltaje existente.*

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Ley de ohm
- Ley de watt

## **4. EQUIPOS Y MATERIALES**

- Teluometro

## 5. PROCEDIMIENTO

5.1. Realizar la conexión como se muestra en el figura 12.

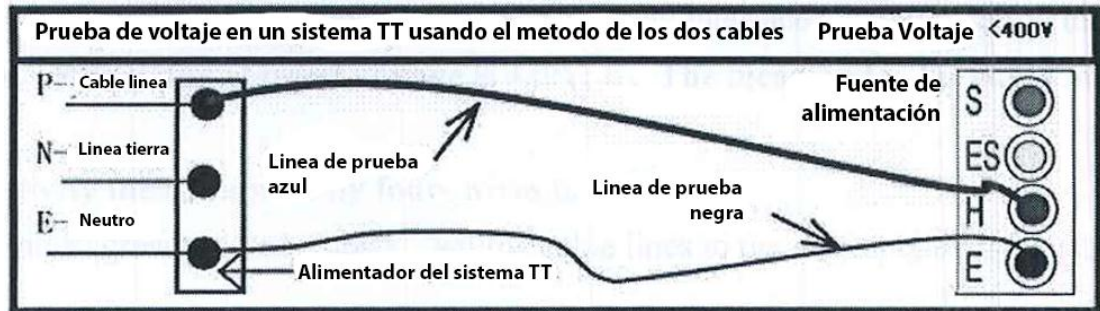


Figura 12

5.2. Ajustar el switch a la posición [VOLT] como se muestra en el gráfico 13, la pantalla podría mostrar una salida de voltaje (ver gráfico 14) y la medición podría realizarse automáticamente, y no hay necesidad de presionar [TEST].

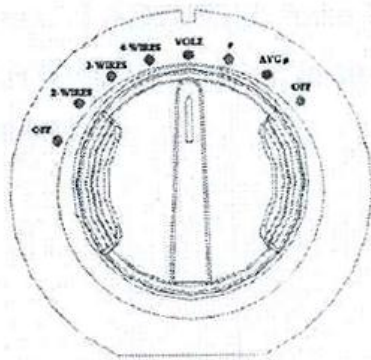


Figura 13

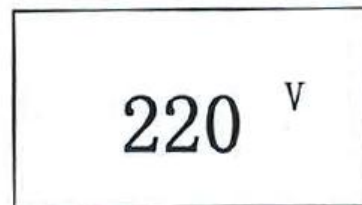


Figura 14

**Advertencia:** Valor máximo de entrada de voltaje es 440 V, el valor medido puede no ser guardado.

**Nota:** Las siglas TT indican fase - neutro.

## 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

Defina la ley de ohm, dando una analogía de la función del voltaje en un circuito.

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

¿En qué consiste la ley de watt? – dibuje el triángulo de potencias y de una breve explicación utilizando el triángulo rectángulo.

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

Realizar una prueba de medición de voltaje con el telurómetro y otra con el voltímetro, de explicación de su experiencia.

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**

¿Cómo afecta el voltaje a los aparatos de medida? – sustente su respuesta

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



# ***Experiencia 6***

## **1. TEMA: MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD EN TIERRA POR EL MÉTODO DE 4 CABLES (METODO WENNER).**

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. General***

- *Aprender a medir la resistividad de tierra usando el método de los 4 cables o método Wenner.*

### ***2.2. Específicos***

- *Diferenciar cuando utilizar el método Wenner, de cuando utilizar alguno de los otros métodos mencionados anteriormente.*
- *Realizar la práctica del método Wenner.*

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Método Wenner o de los 4 cables.
- Remitirse a el proyecto de grado (Guía de laboratorio para SPT – Elton Arango y Jaime san juan).

## **4. PROCEDIMIENTO**

- 4.1. Conectar los cables azul (verde), rojo, negro, amarillo al faucet correspondiente al H, S, E, ES del instrumento.
- 4.2. Cavar en tierra los 4 electrodos, la distancia entre ellos debe ser la misma.
- 4.3. Conectar las 4 líneas de prueba como se muestra en el gráfico 15.



Figura 15

- 4.4. Encender el instrumento y ajustar el switch a la resistividad de tierra mostrado en el figura 16.

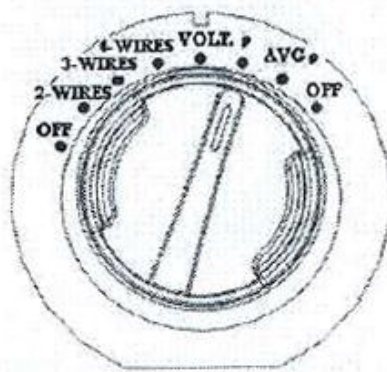


Figura 16

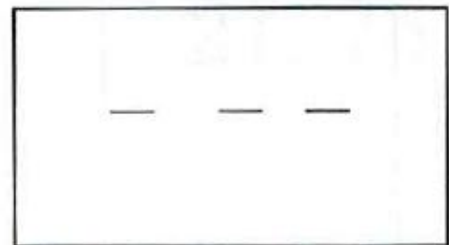


Figura 17

- 4.5. Presionar [ADJUST], tome 1 m como la unidad e ingrese la distancia, este rango es de 1 a 10 m, en principio, es preferencial que en condiciones permisivas este cerca de 10 m.
- 4.6. Después de colocar la distancia, presione [TEST], la pantalla LCD podría mostrar la resistividad de tierra  $\rho$  calculado por la formula  $\rho = 2 \pi a R$  (ver gráfico 19).

**Nota: al medir la resistividad, si desea obtener el promedio de los resultados en diferentes lugares, la operación podría realizarse siguiendo los siguientes pasos:**

- 4.7. El switch podría ajustarse a la posición de [AVG  $\rho$ ], y mostrar los valores de las mediciones y las horas de las mismas, si desea cancelar la medición guardada, presione [CLEAR] dos veces.
- 4.8. El switch podría ajustar a la posición de [ $\rho$ ], y realizar la medición de la resistividad de tierra.

4.9. Presione [SAVE  $\rho$ ], para guardar todos los resultados de prueba (la mayoría puede guardar 10 valores) después de terminar las mediciones, ajuste el switch a la posición de [AVG  $\rho$ ] como se muestra en el gráfico 18, después de un tiempo, podría mostrar las mediciones y las horas de medición. (Ver gráfico 19).

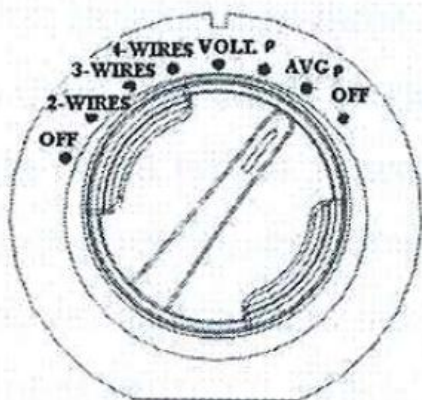


Figura 18

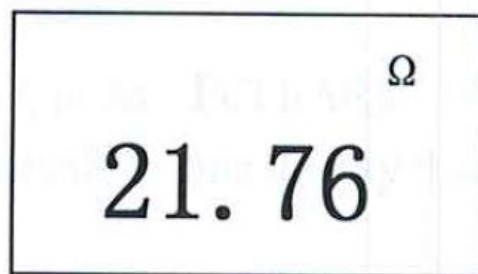


Figura 19

***Nota: El cálculo de la resistividad se puede realizar de forma manual (aplicando la fórmula) o de manera automática utilizando el telurómetro.***

## **5. FORMULA PARA EL CALCULO MANUAL DE LA RESISTIVIDAD.**

La resistividad de tierra se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho = 2 \pi a R$$

$a$ = Distancia entre los dos electrodos.

$R$ = Resistencia de tierra ente dos electrodos medios.

## 6. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

Defina en que consiste el método Wenner.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

Realice el procedimiento mencionado anteriormente (Método Wenner) y de una explicación de su experiencia.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

Al realizar la prueba del método Wenner realizar los dos procesos de cálculo de la resistividad, 1) Cálculo de la resistividad automático utilizando el telurómetro 2) Cálculo manual utilizando la fórmula de resistividad.

---

---

---

---

---

▪ **Pregunta 4:**

Aplique el método Wenner en varios lugares, para comparar así la resistencia característica de los terrenos - Verificar en RETIE la información respecto al método wenner. Artículo 15 - Ítem; 15.5, página 99. Haga un informe comparativo de su experiencia y presente los datos.

---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# ***Experiencia 7***

## **1. TEMA: COMPROBACION DEL SPT POR EL METODO DE LOS 4 CABLES.**

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. General***

- *Comprobar la resistencia del SPT, utilizando el método de los 4 cables.*

### ***2.2. Específicos***

- *Comprender la importancia de volver a tomar la medida después de realizar el SPT.*
- *Comparar los diferentes métodos de comprobación de resistencia en los SPT.*

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Comprobación de resistividad de los SPT.
- Diferentes métodos de comprobación de resistencia de los SPT.

#### 4. PROCEDIMIENTO

4.1. Realizar la conexión como se muestra en el gráfico 10.



Figura 10

4.2. Ajustar el switch a la posición de prueba *[método de 4 cables]* como se muestra en la figura 10, para mostrar que el instrumento podría evaluar una segunda medición y calcular el valor promedio, si el resultado de la prueba es inestable, presione [TEST] dos veces y cambia el número de veces a 5 mediciones, el instrumento podría realizar 5 mediciones automáticamente y calcular el promedio.

4.3. Presione [TEST] después de que el valor mostrado es estable, si es necesario guarde el resultado.

**NOTA:** Se recomienda entre los electrodos enterrados una distancia de 1 metro. Con la máxima extensión de los cables.



## 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

¿Por qué es necesario realizar la comprobación de un SPT después de instalarlo?

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

Realice la experiencia y redacte un informe respecto a los resultados.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

Además del método de los 4 cables, que otro método se utiliza para realizar la comprobación de un SPT, explique cuál es el más utilizado.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**

Consecuencias de no verificar el SPT y que se debe hacer si se comprueba que la resistividad del terreno no es la adecuada.

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# ***Experiencia 8***

## **1. TEMA: METODO DE LA REGLA DEL 62%**

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

- *Determinar la resistencia actual de las conexiones a tierra de un SPT ya instalado, utilizando el método del 62%.*

### **2.2. Específicos**

- *Verificar la necesidad de un nuevo SPT correcto.*
- *Comparar los diferentes métodos de comprobación de resistencia en los SPT.*
- 

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Comprobación de resistividad de los SPT.
- Diferentes métodos de comprobación de resistencia de los SPT.

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Consta de dos cables, uno será colocado a la distancia más lejana posible, este cable es correspondiente a la corriente inyectada al terreno que suministra el equipo
- 4.2. El segundo cable correspondiente a la tensión inyectada al terreno se conecta a una distancia correspondiente al 62% de la distancia del otro cable.
- 4.3. La resistencia de puesta a tierra en ohmios, calculada como  $V/I$ .
- 4.4. Verificar que la resistencia medida, sea congruente con la resistencia calculada al momento de realizar el diseño inicial de instalación del SPT encontrado.

#### ESQUEMA

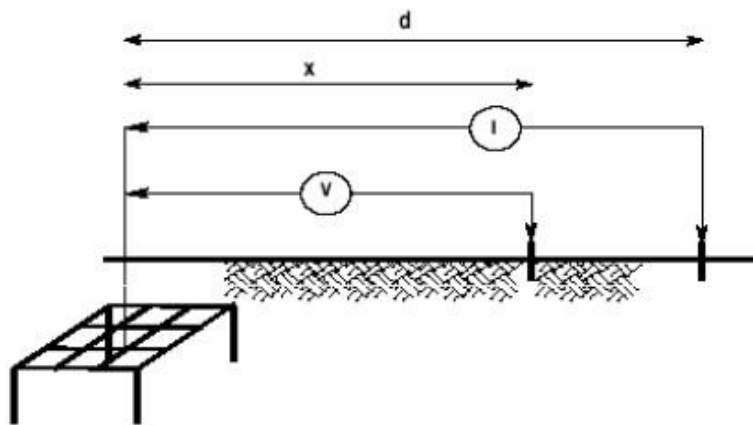


Figura 20

**NOTA:** Tener en cuenta que el método del 62% se realizara con base en un diseño de SPT ya instalado. Comprender que la distancia a la cual se va a instalar el electrodo de corriente, está determinada por la distancia del largo del cable que trae el instrumento de medición. Cabe recordar que en el telurómetro Aitelong SAT-10C los puntos de  $I = S$  y  $E$ , así mismo los de  $V = ES$  y  $H$ .

## 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

Defina el método del 62% o caída de potencial

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

Enumerar características en cuanto a la factibilidad del método de la caída de potencial o del 62%

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

¿Es este uno de los métodos más utilizados a nivel mundial? – Compruebe su respuesta.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 4:**

Compruebe la resistividad del terreno por medio del método del 62% y redacte un informe respecto a los resultados.

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ***Experiencia 9***

### **1. TEMA: CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR PARA FALLAS A TIERRA.**

### **2. OBJETIVOS**

#### **2.1. General**

- *Seleccionar y calcular claramente el calibre que necesitaría una malla para un tipo de falla determinada.*

#### **2.2. Específicos**

- *Identificar y conocer las constantes que intervienen en este cálculo y como estas aportan a conocer el valor de la sección transversal del conductor.*
- *Entender y ubicar la tabla relacionada con dicha selección de calibre del conductor.*

### **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Que es una falla eléctrica y que efectos tienen.
- Importancia de la resistividad del terreno en el momento de una falla.
- Identificar y conocer de manera global los parámetros que influyen en el cálculo de calibre de conductor.

#### **4. PROCEDIMIENTO**

- 4.1. Determinar u obtener información del comportamiento de una corriente de falla.
- 4.2. Identificar que ecuación es la que sirve para calcular la sección transversal de un conductor para sistemas de puesta a tierra.
- 4.3. Identificar que norma o reglamento contiene información de los valores de la formula de sección transversal calibre conductor ya mencionada.
- 4.4. Comprender el manejo e interpretación adecuada de los valores encontrados en el ítem 4.3.
- 4.5. Aplicación matemática de la formula

#### **ESQUEMA**

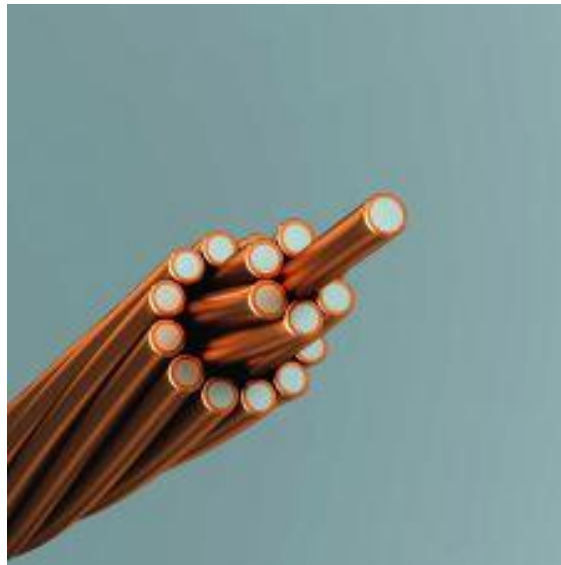


Figura 20



## 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

### ▪ Pregunta 1:

Defina porque se necesita saber el valor de la corriente de falla y como se obtiene dicha información.

---

---

---

---

### ▪ Pregunta 2:

Explique con sus palabras en qué consiste la ecuación para determinar el calibre del conductor, sus componentes (Constantes) y de que normas se obtiene información de estas.

---

---

---

---

### ▪ Pregunta 3:

Identifique en que norma se encuentra información para seleccionar el calibre de conductor luego de haber calculado la sección trasversal de conductor que soporta la corriente de falla.

---

---

---

---

### ▪ Pregunta 4:

Para saber que calibre de conductor soporta una corriente de falla, ¿es necesario saber la resistividad del terreno? Explique su respuesta.

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# ***Experiencia 10***

## **1. TEMA: TENSIONES TOLERABLES PERMITIDAS EN CASO DE UNA FALLA.**

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. General***

- *Identificar y diferenciar la existencia de las tensiones de paso y contacto y como estas afectan la vida humana y funcionamiento de equipos.*

### ***2.2. Específicos***

- *Calcular adecuadamente cuando las tensiones de paso son tolerables e identificar que parámetros hay que medir, controlar o considerar para su cálculo.*
- *Calcular adecuadamente cuando las tensiones de contacto son tolerables e identificar que parámetros hay que medir, controlar o considerar para su cálculo.*

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Diferencia de potencial.
- Efectos de la corriente en el cuerpo humano.
- Resistividad del terreno, superficie gravilla y tiempo máximo de duración de una corriente de falla.

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Determinar u obtener información de los tipos de gravilla existente, su resistividad y cuál es el más conveniente para subestaciones eléctricas.
- 4.2. Identificar que ecuación se utiliza para calcular la tensión de contacto en una subestación eléctricas y conocer cada uno de los parámetros que esta contiene. Explique.
- 4.3. Identificar que ecuación se utiliza para calcular la tensión de paso en una subestación eléctricas y conocer cada uno de los parámetros que esta contiene. Explique

#### ESQUEMA

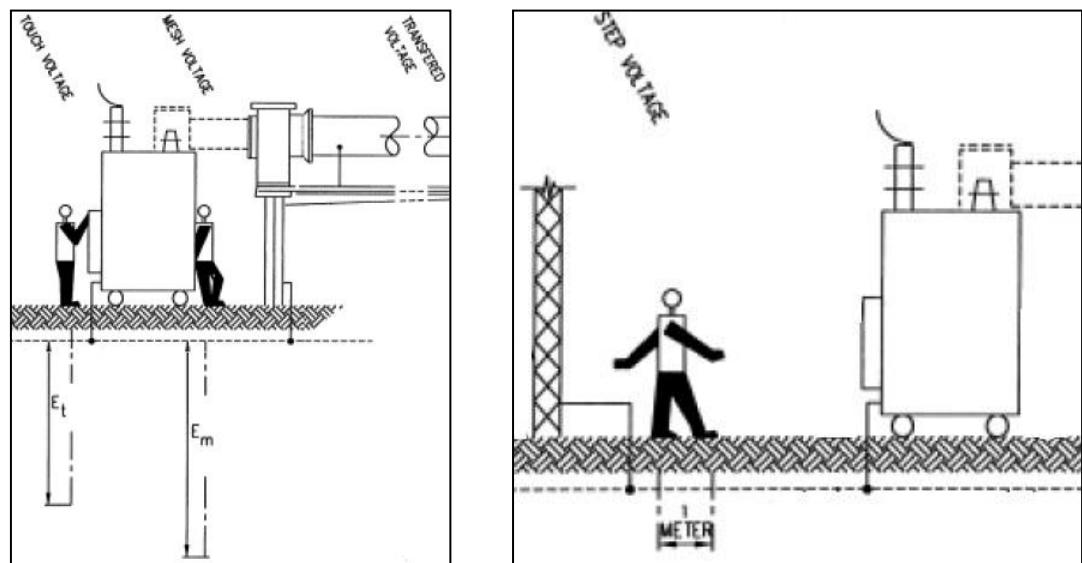


Figura 20

## 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

### ▪ Pregunta 1:

Defina porque se necesita saber las tensiones de paso y contacto y que principio de la electricidad se presenta en una persona en caso de falla.

---

---

---

---

---

### ▪ Pregunta 2:

Explique las ecuaciones de tensión de paso y contacto y sus componentes.

---

---

---

---

---

### ▪ Pregunta 3:

Porque es necesario calcular las tensiones de paso y contacto y en que afectaría un diseño de sistema de puesta a tierra si no se tiene en cuenta estos dos parámetros. Explique su respuesta.

---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# ***Experiencia 11***

## **1. TEMA: CALCULO RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.**

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. General***

- *Conocer la función de la resistencia del terreno para un sistema de puesta a tierra.*

### ***2.2. Especificos***

- *Identificar la diferencia entre resistividad y resistencia del terreno.*
- *Conocer cuáles son los parámetros que hay que tener o saber para poder realizar el cálculo de la resistencia de puesta a tierra.*

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Conocer las dimensiones de la malla y terreno del lugar donde está ubicada.
- Conocer cuáles son los requisitos mínimos de valor de resistencia para las diferentes aplicaciones de SPT, en especial para subestaciones eléctricas de alta tensión.

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Calcular la longitud efectiva del sistema incluyendo la malla y los electrodos.
- 4.2. Conocer el valor exacto del área de la malla.
- 4.3. Establecer la profundidad inicial de enterramiento de la malla de puesta a tierra.
- 4.4. Tener el valor exacto de la resistividad del terreno donde esta la malla.

#### ESQUEMA

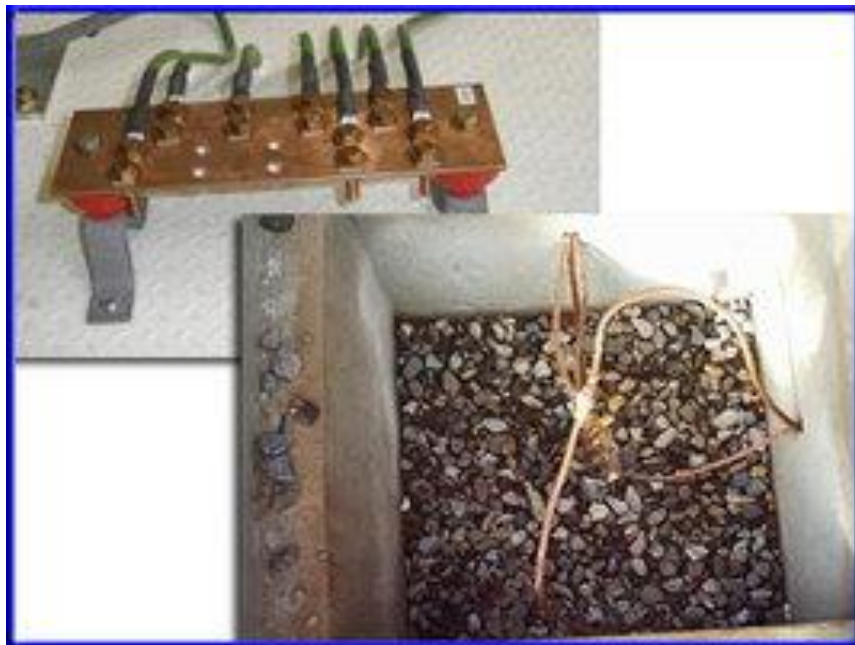


Figura 20



## 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

### ▪ Pregunta 1:

Defina y explique para que se necesita la longitud efectiva del sistema y que parámetros y pasos se requieren para calcularla.

---

---

---

---

---

### ▪ Pregunta 2:

Explique qué influencia en la resistencia tiene la profundidad de enterramiento de la malla y como afecta esta matemáticamente.

---

---

---

---

---

### ▪ Pregunta 3:

Realice un ejemplo en el cual tenga que calcular la resistencia de puesta a tierra y explique qué se necesita y como conseguir la información para su aplicación.

---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

# ***Experiencia 12***

## **1. TEMA: CALCULO MAXIMO POTENCIAL DE FALLA (GPR).**

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. General***

- *Identificar y comprender el cálculo del máximos potencial de falla (GPR) y como este se relaciona con las tensiones tolerables..*

### ***2.2. Especificos***

- *Conocer los tipos de configuración de las subestaciones con respecto al número de líneas de alta y baja tensión y su relación con la corriente máxima de falla.*
- *Conocer la influencia del flujo de corriente entre la red de conexión a tierra y la tierra circundante.*

## **3. REQUISITOS TEORICOS**

Antes de llegar al laboratorio los estudiantes deben documentarse en los siguientes temas:

- Interpretación de gráficas y tablas
- Fallas eléctricas
- Resistencia en líneas de transmisión y distribución

#### 4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Identificar la corriente de falla inicial (Operador de red o simulación)
- 4.2. Identificar las curvas de proximidad de división de corriente e interpretar su contenido.
- 4.3. Realizar el cálculo final de la corriente máxima de falla que se podría presentar dependiendo de las condiciones de la subestaciones (Líneas de transmisión y distribución)

#### ESQUEMA

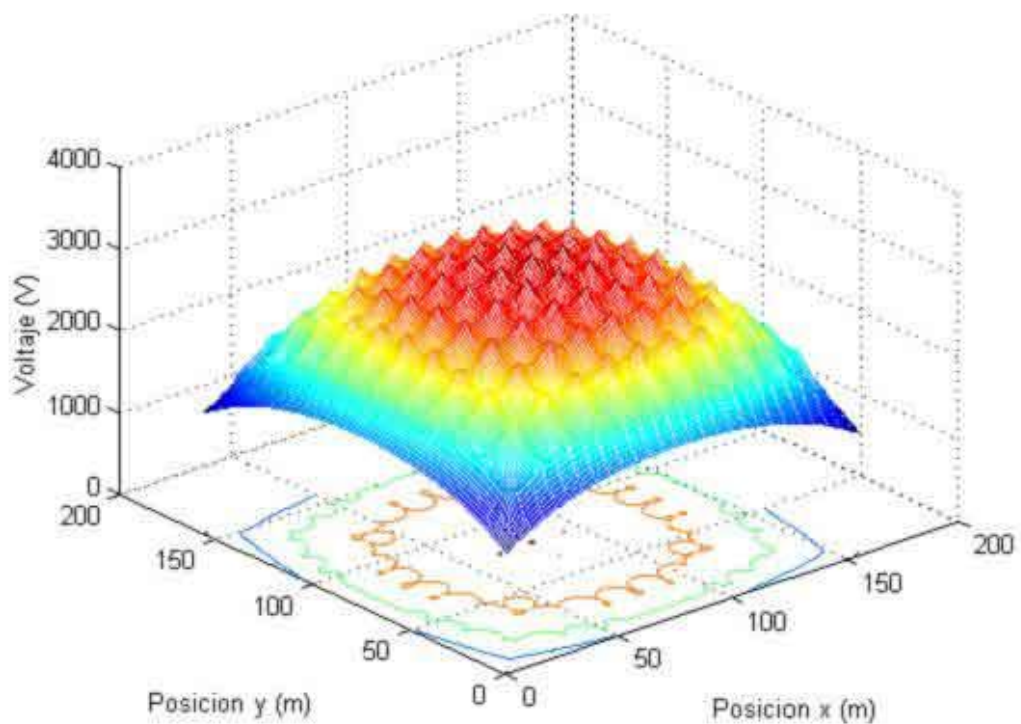


Figura 20

## 5. Análisis de los datos y respuestas a las preguntas.

- **Pregunta 1:**

Defina que es una corriente máxima de falla y como se calcula.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 2:**

Explique con sus palabras como se utilizan las gráficas de factor de división de falla.

---

---

---

---

---

- **Pregunta 3:**

Identifique la ecuación para el cálculo de la máxima corriente de falla.

---

---

---

---

---

## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# ***Experiencia 13***

## **1. TEMA: EJERCICIO DE APLICACIÓN**

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

- *Diseñar un sistema de puesta a tierra en base a la IEEE 80.*

### **2.2. Específicos**

- *Aprovechar las experiencias realizadas para conocer y aplicar de mejor manera un diseño de sistemas de puesta a tierra.*
- *Comprender la variación de la resistencia del terreno antes del diseño y después de ser instalada la malla.*

Se está construyendo una central de generación a carbón, la central consta de 4 unidades generadoras cada una de 200 MVA cada una a 13,8 kV y se requiere la construcción de una subestación para transmitir la potencia generada a 220kV bajo las siguientes especificaciones:

- ✓ Es una subestación de transformación de 13,8kV a 220kV.
- ✓ Hay 4 líneas de entrada de 13,8 kV y 8 líneas de salida de 220kV para los circuitos de distribución que irán interconectado el sistema nacional.
- ✓ La corriente de cortocircuito trifásica del lado de baja (13,8kV) es de 8.4kA de acuerdo a simulación realizada en la planificación de la central en construcción.
- ✓ Se realizó un estudio resistivo del terreno con el método wenner utilizando el AITELONG SAT-10C dando los siguientes valores al realizar varias medidas: 500.5, 498.8, 430, 569.3, 490.5, 530.5.
- ✓ El área disponible para la construcción es de: 100 metros x 80 metros.

- ✓ El tiempo de falla solicitado para la protección de los equipos de la central en común con el sistema interconectado es de 0,5 segundos.
- ✓ La resistencia de puesta a tierra de las líneas de transmisión y distribución conectadas es de 15 ohm y 25 ohm respectivamente.

Diseñe un sistema de puesta a tierra de acuerdo a lo anterior:

1. Establezca los parámetros básicos como dimensión de la malla y componentes como gavilla, tipo de uniones, temperatura ambiente, etc.
2. Determine cuál es el calibre adecuado para soportar una falla en esta malla.
3. Determine los criterios de soportabilidad para personas y equipos.
4. Muestre una caracterización en base a lo realizado hasta el momento de las características de la malla como numero de varillas a utilizar, longitud de la varilla, espaciamiento entre estas, longitud efectiva, etc. (Mostrar inventario de materiales y diseño en autocad.
5. Como ya se tiene el valor de resistividad del terreno y otros datos, calcular la resistencia del terreno teniendo en cuenta la malla. Diga que parámetro del ítem 4 hay que tener en cuenta para este cálculo. Explique su respuesta.
6. Calcule la corriente máxima de cortocircuito que puede existir en esta malla teniendo en cuenta los datos simulados de falla de la central. Explique qué parámetros se necesitan para este cálculo.
7. Calcule el GPR y determine si lo diseñado hasta el momento cumple para proteger a personal de trabajo a las tensiones de paso y contactos.
8. En el caso que el GPR no cumpla explique cuál es el paso a seguir en el diseño de SPT y que indicadores son necesarios para la valides de los resultados obtenidos.
9. Entregue un informe explicando todo el proceso de diseño.



## INFORME DE LA PRÁCTICA

**TEMA DE LA PRÁCTICA:**

FECHA: día \_\_\_\_\_ mes \_\_\_\_\_ año \_\_\_\_\_

**INTEGRANTES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_